Les décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique

de la recherche à la diffusion

CRDI

CANADA

Michael W. Bassey
O.G. Schmidt

Le Centre de recherches pour le développement international, société publique créée en 1970 par une loi du Parlement canadien, a pour mission d'appuyer des recherches visant à adapter la science et la technologie aux besoins des pays en développement ; il concentre son activité dans six secteurs : agriculture, alimentation et nutrition ; information ; santé ; sciences sociales ; sciences de la terre et du génie ; communications. Le CRDI est financé entièrement par le Parlement canadien, mais c'est un Conseil des gouverneurs international qui en détermine l'orientation et les politiques. Établi à Ottawa (Canada), il a des bureaux régionaux en Afrique, en Asie, en Amérique latine et au Moyen-Orient.

This publication is also available in English.

IDRC-270f

Les décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique

de la recherche à la diffusion

Michael W. Bassey
O.G. Schmidt

91-00164/

Titre original de l'ouvrage : *Abrasive-disk dehullers in Africa — from research to dissemination.*
© International Development Research Centre 1989

© Centre de recherches pour le développement international 1990
Adresse postale : CP 8500, Ottawa (Ontario) Canada K1G 3H9

Bassey, M.W.
Schmidt, O.G.

IDRC-270f

Les décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique : de la recherche à la diffusion.
Ottawa, Ont., CRDI, 1990. x + 106 p. : ill.

/Traitement de céréales/, /sorgho/, /millet/, /minoterie/, /Afrique/ — /qualité des aliments/, /conception technique/, /petite industrie/, /critères d'emplacement/, /choix de technologie/.

CDU 664.78

ISBN : 0-88936-548-2

Traduction : Bureau des Traductions, Secrétariat d'État
Révision : Marie Saumure

Une édition microfiche est également disponible

Les opinions émises dans cette étude sont celles des auteurs, et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de recherches pour le développement international. La mention d'une marque déposée ne constitue pas une sanction du produit ; elle ne sert qu'à informer le lecteur.

Résumé — Par suite des récentes sécheresses au Sahel et en Afrique orientale et australe, il est devenu encore plus urgent que les décideurs nationaux se penchent sur la question des cultures résistant à la sécheresse. Les systèmes nationaux de recherche agricole de nombreux pays africains ont renforcé leurs programmes visant à améliorer les cultures de sorgho et de mil à chandelles. Une récolte ne peut cependant être alimentaire qu'à partir du moment où elle est réellement consommée. Les mesures ayant pour but d'accroître la production de nourriture doivent donc s'accompagner de recherches correspondantes sur les aliments après les récoltes. On cite souvent l'absence d'équipement de décorticage approprié, particulièrement pour les céréales à petits grains, comme l'une des raisons expliquant que l'on ait négligé ces cultures dans le passé. Cette publication fait l'historique de la mise au point en Afrique de décortiqueurs à disques abrasifs de petites dimensions, peu coûteux et polyvalents. Leur utilisation en milieu rural donne aux pays concernés l'occasion d'accroître leur autosuffisance céréalière et d'exploiter davantage la capacité de production des régions d'Afrique à faible pluviosité. Voici les sujets qui sont abordés en détail dans la publication: l'importance de comprendre les habitudes et préférences alimentaires traditionnelles; les possibilités d'utilisation des petits décortiqueurs en Afrique; la description technique détaillée de divers modèles de décortiqueurs et les critères à prendre en considération dans leur conception; les caractéristiques importantes des céréales aux fins de décorticage et les effets des agents abrasifs sur les céréales; l'installation et le fonctionnement de certaines meuneries de petite échelle typiques des milieux ruraux; et la transition entre la recherche appliquée et l'introduction de la technologie qui en découle.

Abstract — Recent droughts in the Sahel and in eastern and southern Africa have increased the urgency with which national policymakers are considering drought-resistant crops. National systems for agricultural research in many African countries have strengthened their programs to improve sorghum and pearl millets. A food crop, however, only becomes food when it is actually consumed. Efforts to increase food production must, therefore, be matched by corresponding research on food after harvest. The absence of appropriate dehulling equipment, especially for small grains, has often been cited as a reason for past national neglect of these cereals. This publication reviews the development of small-scale, inexpensive, versatile abrasive-disk dehullers in Africa. The rural deployment of mechanical dehullers offers an opportunity to enhance national cereal self-sufficiency and to increase use of the productive capacity of the low-rainfall areas of Africa. The topics discussed in detail include the need to understand traditional food habits and preferences; the scope for applying small dehullers in Africa; detailed technical descriptions of various dehuller designs and criteria to be considered in a design process; important grain characteristics as they relate to dehulling and the effect of the dehuller's abrasive agent on the grain; installation and operation of some typical, rural, small-scale milling systems; and the process of introducing technology as one moves from applied research to applying the results.

Resumen — Recientes sequías en la región del Sahel y en las regiones orientales y del sur de Africa han urgido a los formuladores de políticas a tener en cuenta los cultivos resistentes a las sequías. Sistemas nacionales para la investigación agrícola en muchos países africanos han fortalecido sus programas para mejorar el sorgo y los mijos perlados. Sin embargo, un cultivo solamente se convierte en alimento cuando se consume. Los esfuerzos para incrementar la producción de alimentos deben ir acompañados de investigaciones sobre el alimento después de la cosecha. La ausencia de equipo adecuado de descascaramiento, sobre todo para granos pequeños, ha sido mencionada a menudo como causa de que a escala nacional se haya descuidado el cultivo de estos cereales en el pasado. Esta publicación analiza el desarrollo en Africa de descascaradores de disco abrasivo pequeños, baratos y versátiles. El empleo en áreas rurales de descascaradores mecánicos ofrece oportunidad de mejorar el autobastecimiento nacional de cereales y aumentar el uso de la capacidad productiva de las áreas con

escasa precipitación pluvial en Africa. Los tópicos discutidos en detalle incluyen: la necesidad de comprender hábitos y preferencias alimentarios tradicionales; el espacio abierto para la aplicación de los descascaradores pequeños en Africa; descripciones técnicas detalladas de los diferentes diseños de descascaradores y criterios que se deben considerar al diseñarlos; características importantes de los granos relacionados con el descascaramiento y el efecto que tiene el agente abrasivo descascarador sobre el grano; instalación y operación de algunos pequeños sistemas de molienda típicos del área rural; y proceso de introducción de tecnología al pasar de la investigación aplicada a la utilización de los resultados.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements viii

Avant-propos ix

1. Introduction 1

Objectif 1

Le contexte du problème alimentaire en Afrique 3
Importance du sorgho et du mil 3
Nécessité d'une technologie du décorticage 4
Interventions du Centre de recherches pour le développement international 6
Technologie et matériel 6

Aperçu des autres chapitres 7
Aliments traditionnels, préférences des consommateurs et qualité du grain (Chapitre 2) 7
Évolution des décortiqueurs à sec à disques abrasifs et applications en Afrique (Chapitre 3) 7
Modèles de décortiqueurs à sec à disques abrasifs (Chapitre 4) 8
Interactions grain–machine (Chapitre 5) 8
Petites minoteries (Chapitre 6) 8
De la recherche à la diffusion (Chapitre 7) 8

2. Aliments traditionnels, préférences des consommateurs et qualité du grain . 9

Diversité de la préparation des aliments 9

Préférences des consommateurs et qualité du grain 13

3. Évolution des décortiqueurs à sec à disques abrasifs et applications en Afrique 17

Grands décortiqueurs 17
Nigéria 17
Botswana 18
Ghana 19
Sénégal 20
Soudan 20
Tanzanie 21
Éthiopie 21
Kenya 22

Mini-décortiqueurs 22
Gambie 22
Zimbabwe 23
Sénégal 23

Sommaire 23
Interventions techniques simultanées et complémentaires 26

4. Modèles de décortiqueurs à sec à disques abrasifs 27

Conception générale et principes de fonctionnement 27

Description des différents modèles 29
Le décortiqueur PRL 30
Le décortiqueur RIIC 31
Le décortiqueur Nuhull 32
Le décortiqueur Mini-PRL 33
Le décortiqueur Mini-CRS 36
Le décortiqueur Mini-ENDA 37
Le décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA 37

Stades de développement et utilisation des décortiqueurs 43

Méthodologie de réalisation de modèles appropriés 45

5. Interactions grain–machine 50

Caractéristiques du grain 50
Structure du grain 50
Texture de l'endosperme 52

Décorticage 52
Définitions 53
Mesure pratique du taux d'extraction 54

Disques abrasifs 55
Composition du disque abrasif 55

Interactions grains–disques 57

Performance du décortiqueur 58
Mesures quantitatives de la performance 58
Taux de performance typiques 59

Sommaire 61

6. Petites minoteries 61

Planification des petites minoteries 61
Identification des zones de production des grains 61
Détermination de la consommation de grain 62
Choix du territoire de la minoterie 62
Déterminer si les usagers sont disposés à utiliser une minoterie 62
Comparaison des produits obtenus par la méthode traditionnelle et des produits d'une minoterie 63
Choix du site de la minoterie 63
Financement de l'établissement d'une minoterie 63

Installations types 64
Matériaux de construction et superficie 64
Agencement et installation de l'équipement 64

Fonctionnement des minoteries 72
Gestion de la minoterie 72
Optimisation du fonctionnement 73
Prix du décorticage 74
Quantités de grain à décortiquer 76
Utilisation des décortiqueurs comparée à celle des broyeurs 77
Entretien et pièces de rechange 79
Durée de vie des disques et performance du décortiqueur 81
Évaluation de la performance et des effets des décortiqueurs 82

7. De la recherche à la diffusion 85
Utilité des décortiqueurs 85
Effet d'une intervention technologique sur le système alimentaire 86
Développement de la technologie afin de répondre aux besoins des usagers 88
Rôle du chercheur pour populariser les décortiqueurs 89

Appendices

Appendice A. Définitions 92
Appendice B. Spécifications des meules 94
Appendice C. Quelques institutions effectuant des recherches sur les décortiqueurs 96

Références 99
Acronymes 106

Remerciements

Nous sommes reconnaissants à ceux et celles qui ont contribué à faire de ce livre une réalité; il est impossible de les citer tous ici. Nous tenons néanmoins à exprimer notre gratitude particulière à Edward Weber qui nous a apporté de constants encouragements, à toutes les étapes de la réalisation de cet ouvrage. La matière et les idées exposées sont le fruit d'innombrables interactions avec des chercheurs et des agents de développement qui consacrent des travaux aux décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique et au Canada, et dont les observations nous ont été précieuses. Nous tenons à mentionner tout particulièrement que nous avons utilisé les résultats des travaux accomplis, au cours de plusieurs années, par Robert Reichert et ses collègues à l'Institut de biotechnologie des plantes du Conseil national de recherches du Canada, par Hyacinthe Mbengue de l'Institut sénégalais de recherches agricoles, par John Nance du Service de secours catholique en Gambie, par Environment Development Activities au Zimbabwe, par le Centre d'innovation des industries rurales au Botswana, par la Société industrielle sahélienne de mécaniques, de matériels agricoles et de représentations, au Sénégal et par Nutana Machinery au Canada. L'analyse socio-économique de Karen Schoonmaker Freudenberger, portant sur plusieurs petites minoteries, a été un apport précieux, et dont nous lui savons gré.

Nous remercions David Dendy et Robert Reichert, dont les observations et les utiles suggestions ont été intégrées au manuscrit final. Nous remercions aussi Hubert Zandstra de ses commentaires, qui ont permis de rendre ce livre plus clair et plus pertinent pour nos lecteurs. Marie Élisabeth Turpin et Alice Mbogo ont patiemment dactylographié et remanié plusieurs ébauches du manuscrit, ce qui n'a pas été une tâche facile ; nous en avons conscience et nous avons apprécié leur compréhension et leur compétence. L'apport professionnel de la Division des communications du Centre de recherches pour le développement international mérite aussi d'être mentionné.

Nous avons reçu beaucoup d'aide venant de nombreux endroits, mais nous tenons à souligner que nous sommes seuls responsables des lacunes de cet ouvrage ou des inexactitudes qu'il pourrait contenir.

Michael W. Bassey
O.G. Schmidt

Avant-propos

Depuis quinze ans, le Centre de recherches pour le développement international (CRDI) a apporté son appui à plusieurs projets menés en Afrique afin de mettre au point des décortiqueurs pour les céréales à petit grain, celles-ci étant l'aliment de base de la population de plusieurs régions semi-arides. Ces travaux ont abouti à la réalisation de décortiqueurs à disques abrasifs pouvant effectivement alléger la tâche des femmes, en milieu urbain aussi bien qu'en milieu rural. L'expérience montre cependant qu'il faut que les diverses disciplines aient accès à l'information sur certaines questions en rapport avec la mouture des céréales pour que les résultats de ces travaux puissent être utilisés de façon satisfaisante. Les auteurs de ce livre ont cherché à combler cette lacune.

Le présent ouvrage est une compilation de l'information sur les aspects techniques des décortiqueurs à disques abrasifs dans le contexte de l'Afrique rurale. Il résume les résultats des recherches appliquées déjà réalisées, apporte des éléments pratiques aux chercheurs qui s'engagent dans des travaux sur le traitement des céréales et souligne l'importance de la recherche axée sur le développement. Différents groupes, depuis les chercheurs en sciences sociales et les agents de développement jusqu'aux techniciens et aux fabricants, en passant par les décideurs, devraient le trouver instructif. On peut le considérer comme le pendant technique d'une publication antérieure, *Adieu au pilon* (Eastman 1980) et du film portant le même titre.

L'accent est mis sur le traitement des petites céréales en Afrique, mais le contenu est en grande partie applicable à d'autres continents où le traitement manuel du sorgho, du mil, d'une grande variété de légumineuses, du maïs, de l'orge et du quinoa demande beaucoup de temps.

Edward J. Weber, Directeur associé
Division des Sciences de l'agriculture, de l'alimentation et de la nutrition
Centre de recherches pour le développement international

CHAPITRE 1
INTRODUCTION

Le sorgho et le mil sont des petites céréales résistantes à la sécheresse, qui ont un rôle vital à jouer pour contribuer à l'alimentation de l'Afrique. Les décideurs africains chargés des politiques alimentaires nationales, de l'autosuffisance en céréales et de la sécurité alimentaire des ménages leur accordent de plus en plus d'importance. Dans les politiques, la vulgarisation et la recherche agricole, c'est sur l'accroissement et l'amélioration de la production de ces céréales que l'on a surtout insisté jusqu'à présent. Or, certains obstacles majeurs à l'accroissement de la production se situent après la récolte, dans le champ relativement négligé de la recherche post-production.

L'absence d'équipement de décorticage approprié a souvent été mentionnée comme une des raisons pour lesquelles ces importantes céréales ont été précédemment négligées dans les politiques nationales. Depuis quelques années, des scientifiques africains et canadiens mènent des recherches appliquées sur une technologie destinée à améliorer le traitement du sorgho et du mil, et à en accroître ainsi leur utilisation. Les recherches en question, menées surtout depuis 1972, constituent une impulsion post-production qui vient s'ajouter à l'impulsion donnée pour accroître ces productions céréalières. Elles ont abouti à de petits décortiqueurs simples qui font maintenant l'objet d'une plus large distribution dans plusieurs pays.

Ce livre présente une synthèse des aspects techniques des décortiqueurs à sec à disques abrasifs, dans le contexte de l'Afrique rurale. Il explique certaines des recherches appliquées qui ont été réalisées, fournit les informations techniques de base dont a besoin le chercheur qui entreprend des travaux sur le traitement des petites céréales et souligne l'importance d'une réflexion mettant de l'avant la recherche axée sur le développement et les systèmes alimentaires.

Le présent chapitre précise l'objectif du livre et le public auquel il s'adresse, il présente le contexte du problème alimentaire auquel les décortiqueurs peuvent apporter une solution et résume le contenu des chapitres qui suivent.

OBJECTIF

Ce livre s'appuie sur l'expérience des chercheurs et sur ce qu'ils ont appris en s'attaquant aux problèmes de traitement que rencontrent le producteur et le consommateur de sorgho et de mil. Leurs recherches représentent un processus systématique d'application de connaissances scientifiques et d'enquêtes: identification de la nature précise du problème alimentaire, mise au point technologique du matériel qui pouvait être utile et essais visant à déterminer si la nouvelle solution était appropriée, dans le cadre du système alimentaire existant. La phase

de la mise au point du matériel touche maintenant à sa fin et les travaux des chercheurs sont maintenant orientés vers la diffusion de cette technologie aux usagers potentiels.

Des chercheurs d'autres pays voudraient déterminer si les décortiqueurs à sec à disques abrasifs répondent aux problèmes particuliers de leur propre région semi-aride et comment. Ce livre est destiné à faire comprendre à ces nouveaux chercheurs l'ampleur et la complexité des questions interdépendantes qu'ils devront aborder en cherchant à résoudre les problèmes du système alimentaire local basé sur les céréales (et les légumineuses à grains) autochtones.

Il s'adresse donc avant tout à ceux qui font de la recherche appliquée, et spécialement à ceux qui veulent remédier aux difficultés que présentent pour les populations rurales (et urbaines) le traitement et l'utilisation du sorgho, du mil à chandelles et de certaines légumineuses à grains. Ces chercheurs s'intéressent à certains aspects des systèmes alimentaires basés sur les céréales et les légumineuses alimentaires résistantes à la sécheresse, leur mandat est d'intervenir dans ces systèmes alimentaires par des politiques ou des techniques destinées à améliorer la vie rurale (et urbaine), et ils ont besoin d'un aperçu des travaux déjà accomplis par leurs collègues chercheurs, africains et canadiens.

Ces lecteurs auxquels nous nous adressons travaillent dans un large éventail de secteurs: développement rural, développement des petites industries, planification et mise en oeuvre de politiques alimentaires nationales ou de stratégies de sécurité alimentaire, technologie appropriée, politique en matière de technologie, intervention en matière de nutrition, commercialisation des céréales, traitement des produits alimentaires et recherche agricole. Ils auront pu recevoir leur formation dans des disciplines diverses: génie mécanique ou agricole, nutrition, industrie alimentaire, vulgarisation agricole, sciences des céréales ou agriculture en général, économie rurale ou sociologie.

Les lecteurs que nous visons sont relativement isolés, étant peu nombreux en Afrique. Ils n'ont pas facilement accès à la documentation scientifique, formelle ou informelle, que ce soit dans leur propre pays ou dans d'autres pays d'Afrique subsaharienne. Ils ont peut-être entendu parler de l'existence de petites machines à décortiquer, mais l'information disponible n'a pas été présentée systématiquement ni largement partagée.

Ils trouveront ici une synthèse de nombreux rapports de chercheurs dont les travaux sont restés en grande partie non diffusés dans la littérature technique publiée, et de ce que les auteurs savent des recherches portant sur le développement et la mise en service des décortiqueurs à disques abrasifs. Beaucoup des références citées appartiennent donc à la littérature informelle — une littérature souvent incomplète et fragmentée, ne faisant pas l'objet d'une édition et d'une présentation professionnelles, mais constituant une importante passerelle entre le champ du développement rural pratique et les revues techniques étroitement spécialisées du monde industrialisé.

Étant donné que nous n'avons pas voulu répéter les éléments déjà publiés, ce livre est à considérer comme un complément à un ouvrage antérieur, *Adieu au Pilon* (Eastman 1980), dont le contenu reste pertinent, surtout les chapitres traitant des aspects économiques (seuil de rentabilité) et des systèmes de gestion.

Le contexte du problème alimentaire en Afrique

En Afrique, la production alimentaire occupe les énergies de quelque 80 % de la population, se livrant principalement à des cultures de subsistance sur de petites parcelles. Une grande partie de la production alimentaire reste chez l'agriculteur, pour satisfaire les besoins de sa famille pendant toute l'année. L'excédent de production lui permet de se procurer l'argent nécessaire pour les frais de scolarité, les vêtements et les articles manufacturés, tout en contribuant à l'alimentation des populations sans cesse croissantes des villes.

Importance du sorgho et du mil

En 1981, le sorgho et le mil représentaient 28 % de la production céréalière africaine (le maïs, le blé et le riz intervenant respectivement pour 43, 11 et 11 %), mais ne constituaient qu'une très petite part des céréales achetées et distribuées par les organismes officiels de commercialisation des céréales. Le sorgho est la deuxième céréale d'Afrique (après le maïs), mais la cinquième du monde (après le blé, le maïs, le riz et l'orge). Les Tableaux 1 et 2 présentent les chiffres de production de sorgho et de mil de 1981, année qui n'a pas été affectée par la sécheresse. Ces cultures bien adaptées aux régions semi-arides (Fig. 1) gardent la préférence d'une forte proportion de la population, mais elles ont été négligées dans les politiques nationales et sont souvent considérées par l'élite urbaine comme les « céréales du pauvre » (Chinsman 1984).

Les sécheresses qui ont affecté le Sahel, l'Afrique orientale et l'Afrique australe ont accru l'intérêt que les décideurs nationaux portent maintenant aux cultures résistantes à la sécheresse. Les systèmes nationaux de recherche agricole de nombreux pays d'Afrique ont renforcé leurs programmes d'amélioration du sorgho et du mil. Mais une culture ne devient aliment que lorsqu'elle est réellement consommée. Les efforts visant à accroître la production céréalière devront donc aller de pair avec des recherches sur l'utilisation des céréales après la récolte.

Tableau 1. Superficie, rendement et production de sorgho et de mil par région, 1981.

	Sorgho			Mil		
Région	Surface cultivée (× 1000 ha)	Rendement (kg/ha)	Production (Gt)	Surface cultivée (× 1000 ha)	Rendement (kg/ha)	Production (Gt)
Monde	48 384	1 493	72 228	43 065	676	29 127
Afrique	15 925	751	11 960	16 605	620	10 294
Amérique du Nord et centrale	7 780	3 749	29 171	–	–	–
Amérique du Sud	2 789	3 213	8 963	187	1 270	238
Asie	20 967	962	20 168	23 536	724	17 040

Source : adapté de la FAO (1984).

Tableau 2. Production de mil et de sorgho dans certains pays d'Afrique, 1981.

	Mil (Gt)	Sorgho (Gt)
Afrique occidentale		
Bénin	7	57
Burkina Faso	443	659
Cameroun	351	nc[a]
Gambie	42	nc
Ghana	119	131
Mali	800[c]	nc
Mauritanie	66	nc
Niger	1 314	322
Nigéria	3 180[b]	3 700[b]
République centrafricaine	55	nc
Sénégal	736	nc
Tchad	496[b]	nc
Togo	107	nc
Afrique orientale et australe		
Afrique du Sud	15[c]	545
Angola	50[b]	nc
Botswana	2	28
Burundi	39	243
Éthiopie	197	1 207
Kenya	130[c]	200[c]
Lesotho	0	48
Malawi	0	140[b]
Mozambique	5[c]	160[c]
Namibie	20[c]	2[c]
Ouganda	480	320
Rwanda	3[c]	175[c]
Somalie	nc	207
Soudan	573	3 345
Swaziland	2[b]	nc
Tanzanie	150[c]	230[c]
Zambie	30[c]	14
Zimbabwe	138	125

Source: adapté de la FAO (1984).
[a] nc = chiffre non communiqué.
[b] Chiffre non officiel.
[c] Estimations de la FAO.

Nécessité d'une technologie du décorticage

La plupart des producteurs et consommateurs de sorgho et de mil doivent se livrer chaque jour à un travail manuel de décorticage et de pulvérisation des grains avant de pouvoir préparer le repas quotidien. Le sorgho et le mil sont traditionnellement décortiqués:

- pour enlever les enveloppes, qui contiennent surtout des fibres et dont la présence affecte la qualité de cuisson du produit, son goût et sa texture, tout en ajoutant du volume au repas quotidien;
- pour éliminer les sources de goût amer (polyphénols ou tanins) qui se trouvent souvent dans l'enveloppe extérieure ou immédiatement au-dessous, dans le testa (ou tégument).

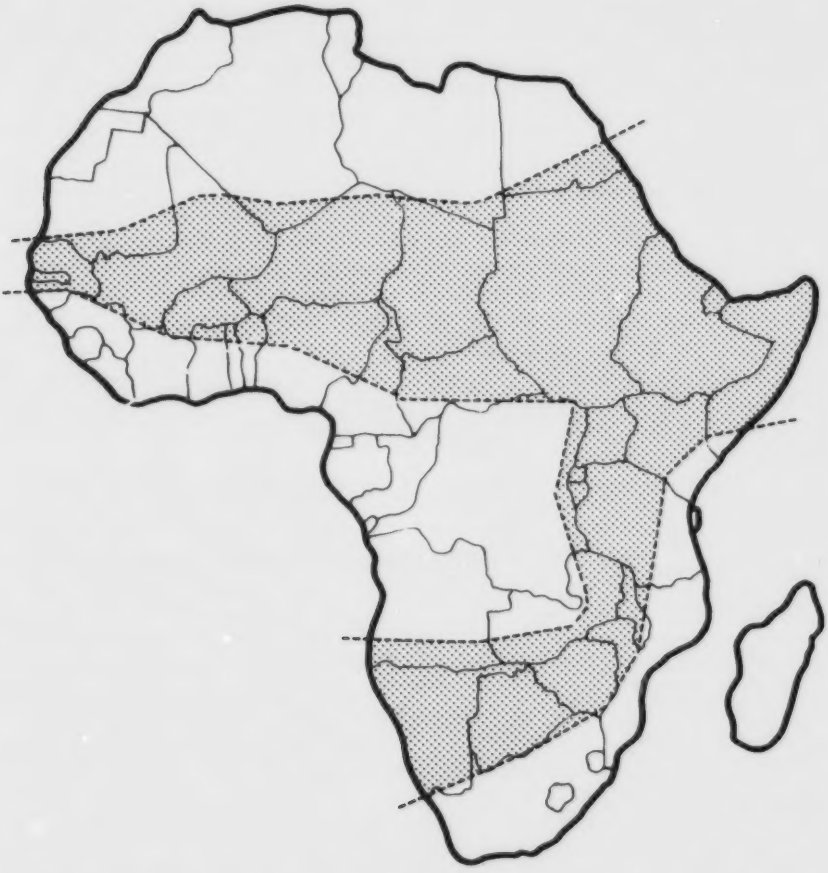

Fig. 1. Zones semi-arides d'Afrique se prêtant à la culture du sorgho et du mil (pointillés) ; d'après la FAO 1978, Fig. 10.1 et 10.2.

La ménagère rurale moyenne et ses enfants économiseront beaucoup de temps et d'énergie s'ils ont accès à des machines permettant d'offrir un service commode et peu coûteux de décorticage et de broyage. D'après les recherches menées au Botswana au milieu des années 70, les femmes rurales de ce pays, même si elles préféraient le goût du sorgho, étaient prêtes à acheter de la farine de maïs d'importation à cause de sa commodité, qu'elles trouvaient facilement dans le commerce, ce qui leur économisait du travail. Les preuves s'accumulent de ce que le goulot d'étranglement que représente le traitement au foyer de ces céréales résistantes à la sécheresse entraîne des changements dans les habitudes culturales et alimentaires, au détriment d'une agriculture praticable en région semi-aride. Les agriculteurs de ces régions plantent davantage de maïs, même s'il y a plus de risques de voir la récolte condamnée du fait d'une pluviosité irrégulière ou insuffisante, et leurs familles consomment moins de sorgho et de mil.

L'absence de machines de décorticage affecte aussi les habitudes d'achat de la consommatrice urbaine. Généralement occupée à son travail 8 à 12 heures par jour, elle a peu de temps à consacrer chez elle à la préparation du sorgho et du mil. C'est pourquoi, indépendamment des préférences de sa famille, elle achètera une farine de maïs prête à cuire ou d'autres aliments commodes.

Interventions du Centre de recherches pour le développement international

Depuis sa création en 1970, le CRDI a apporté son appui aux travaux de chercheurs africains et canadiens sur les cultures négligées des régions tropicales semi-arides, au niveau de la production et au niveau post-production. L'appui accordé à la recherche axée sur l'amélioration du sorgho et du mil dans le cadre de plusieurs programmes africains a conduit à l'analyse suivante: les recherches pour l'amélioration aboutiront sans doute à accroître la production de sorgho et de mil, mais ces volumes accrus poseront une nouvelle série de problèmes. Pour les résoudre, il faut des recherches qui mettent l'accent sur ce qui se passe après la récolte.

Le Nigéria a commencé en 1972 à soutenir des recherches consacrées à l'étude et à l'utilisation de ces petites céréales, ainsi que du niébé (Dovlo et al. 1976). Des publications antérieures ont fait d'utiles synthèses des travaux des chercheurs en Afrique sur l'utilisation et le traitement de ces cultures (Vogel et Graham 1979; Eastman 1980).

Les bénéficiaires de ces recherches post-production, depuis les travaux réalisés au Nigéria de 1972 à 1976 jusqu'aux activités actuelles dans plusieurs régions de l'Afrique semi-aride, devaient être les petits producteurs et consommateurs ruraux de sorgho et de mil, et de légumineuses telles que le niébé. Ces recherches ont abouti à plusieurs variantes d'un modèle de base de machine à décortiquer.

Technologie et matériel

Le décortiqueur est constitué d'un arbre métallique portant plusieurs meules ou disques abrasifs espacés à intervalles égaux d'environ 2 cm. Ce rotor est logé dans une auge semi-circulaire en tôle, que l'on emplit de grain. Les disques abrasifs, en tournant à 1 500 à 2 000 tours/minute, produisent par le frottement contre la masse des grains en mouvement une abrasion des couches extérieures. Plusieurs modèles sont décrits au Chapitre 4.

Toutes les variantes sont de relativement petite taille, mais on peut les grouper en deux catégories, dont la capacité répond (pour des raisons de viabilité économique) aux niveaux de la demande de deux catégories de population. Les petites machines, les mini-décortiqueurs, conviennent pour les zones rurales peu peuplées et apportent une solution au problème que pose à chaque ménage situé dans le rayon d'attraction de la minoterie le travail nécessaire au traitement des céréales. La disponibilité de telles machines dans les régions rurales, réduit les coûts importants qui sont associés à la collecte de la production et à la redistribution d'un produit traité, ce qui est si courant dans le cas des grandes industries de traitement centralisées. De plus, tout l'équipement de ces industries est importé, ce qui implique de lourdes dépenses en capital, et il faut encore consacrer des devises étrangères, si rares, à l'importation de pièces de rechange.

Les modèles plus grands, les décortiqueurs PRL (Laboratoire régional des Prairies) et RIIC (Centre d'innovation des industries rurales) conviennent pour des régions rurales à plus forte densité de population. Ils peuvent aussi être installés en parallèle, en chaînes de production multiples pouvant satisfaire une demande urbaine, qui porte sur des volumes plus importants. Le décortiqueur RIIC a été utilisé avec succès dans une minoterie publique rurale, à l'une des extrémités du spectre d'activités, et comme élément d'une usine de traitement entièrement commerciale à l'autre extrémité.

Aperçu des autres chapitres

Les différents chapitres de ce livre sont conçus pour conduire le lecteur en suivant un ordre logique. Il pourra cependant suivre un ordre différent, selon ses intérêts et son bagage technique. C'est ainsi que le décideur préférera peut-être lire les Chapitres 2 et 7 avant de revenir aux sections plus techniques. Nous présentons donc ici un bref résumé de chacun des chapitres.

Aliments traditionnels, préférences des consommateurs et qualité du grain (Chapitre 2)

D'une manière générale, dans toute l'Afrique, la ménagère rurale effectue deux tâches distinctes pour convertir les grains des céréales en produit comestible: d'abord plusieurs étapes de traitement primaire, puis plusieurs étapes de préparation d'un aliment. La succession particulière d'étapes de chacune de ces tâches varie d'un pays à l'autre; elle dépend des préférences établies de la famille pour un aliment ou un autre, qui sera le produit final. Nous verrons la large gamme de plats préparés à base de sorgho ou de mil, qui seront reliés ensuite aux caractéristiques particulières que devront présenter les grains pour que ces aliments aient des propriétés fonctionnelles satisfaisantes. Les interactions entre la qualité du grain et la qualité de l'aliment n'ont pas été entièrement explorées, mais elles ont des incidences sur les objectifs des programmes alimentaires nationaux, et déterminent aussi si les décortiqueurs sont vraiment nécessaires dans un certain système alimentaire.

Évolution des décortiqueurs à sec à disques abrasifs et applications en Afrique (Chapitre 3)

Ce chapitre présente un bref aperçu historique des recherches appliquées effectuées dans différents pays d'Afrique. L'objectif de cet aperçu, qui n'est pas exhaustif, est de souligner plusieurs points: tous les travaux dont il est rendu compte sont liés à la perception du besoin de promouvoir la production et l'utilisation de céréales résistantes à la sécheresse; beaucoup de ces travaux sont issus d'un problème plutôt que d'une technologie. Une bonne compréhension des problèmes réels, tels que les perçoivent les ménagères rurales appelées à être les bénéficiaires, a conduit à d'importantes modifications techniques: les recherches ont été menées par des scientifiques et des ingénieurs travaillant en étroite collaboration avec les futurs bénéficiaires prévus. Le Chapitre 3 met en relief les activités des chercheurs qui ont reçu l'appui du CRDI, et mentionne aussi les travaux complémentaires importants que d'autres ont accomplis.

Modèles de décortiqueurs à sec à disques abrasifs (Chapitre 4)

Les principes de base du fonctionnement du décortiqueur sont expliqués, pour donner au lecteur une base de départ qui lui fera mieux comprendre la technologie de ce matériel. Des renseignements techniques sont donnés ensuite sur chacune des variantes du modèle de base; leur utilité pour différentes clientèles et différentes réalités rurales est expliquée. Ce chapitre donne assez d'informations pour souligner la relation importante qui existe entre une bonne analyse du problème alimentaire et une bonne conception technique du matériel. Un important tableau présente les principales raisons des modifications apportées dans les différentes variantes du modèle de base.

Interactions grain–machine (Chapitre 5)

L'objet général de ce livre est de démontrer que le remplacement du décorticage manuel par un décorticage mécanique est, dans de nombreux cas, techniquement possible, socialement souhaitable et économiquement réalisable. Ce chapitre examine sous deux angles différents l'action qui consiste à enlever l'enveloppe d'un grain: les caractéristiques importantes de la structure du grain, définissant son aptitude ou sa résistance au décorticage, et la nature du matériau abrasif de la meule ou du disque. Il définit aussi certaines mesures qui, combinées, forment un système commun de compte rendu et de comparaison de la performance des décortiqueurs.

Petites minoteries (Chapitre 6)

Ce chapitre guidera pas à pas le chercheur engagé dans la recherche appliquée, pour une utilisation efficace du matériel dans un système alimentaire rural. Il donne des exemples de plusieurs petites minoteries en fonctionnement, comprenant des décortiqueurs. Des renseignements concrets sont fournis, la nécessité d'une expérimentation systématique est soulignée et la gamme de données utiles et nécessaires est clairement définie.

De la recherche à la diffusion (Chapitre 7)

Le chercheur doit avoir à l'esprit le contexte du problème alimentaire qui a suscité initialement le développement du matériel. La distinction est faite entre la recherche technique et la recherche axée sur le développement. Il est souligné que celui qui se livre à des recherches techniques a la responsabilité de veiller à ce que les résultats de ses recherches puissent servir aux agents orientés vers l'action et soient utilisés par ceux-ci. Tout le processus, allant de la définition des problèmes à la diffusion d'une solution que le bénéficiaire visé adoptera et utilisera, est présenté en plusieurs schémas. En guise de conclusion de ce chapitre, il est souligné qu'il faut regarder le système alimentaire comme un tout et veiller à ce que les recherches techniques soient orientées vers la solution d'un problème d'alimentation existant.

CHAPITRE 2

ALIMENTS TRADITIONNELS, PRÉFÉRENCES DES CONSOMMATEURS ET QUALITÉ DU GRAIN

Avant de chercher à élaborer ou à introduire un matériel de décorticage, le lecteur doit connaître les différents types d'aliments que les grains décortiqués permettent de préparer. Si l'on veut que cet élément d'équipement soit adopté avec succès, il est indispensable de savoir comment certains grains sont traités et appréciés par les populations locales. C'est pourquoi il sera question dans ce chapitre du traitement primaire traditionnel et de sa relation avec les goûts acquis, de la diversité de la préparation des aliments, en fonction des différents types de grains, et du caractère local de la notion de grains de bonne qualité et de grains bien traités. En général, la spécificité locale des types de grains, des produits traités et des aliments préparés est constamment rappelée au lecteur.

DIVERSITÉ DE LA PRÉPARATION DES ALIMENTS

Les formes finales dans lesquelles les céréales ou les légumineuses à grains sont consommées dans les pays africains varient selon les pratiques traditionnelles, dans chaque pays et d'un pays à un autre. Pour arriver à ces produits finaux, la ménagère rurale accomplit deux tâches principales: le traitement primaire et la préparation d'un aliment. Les similitudes et les différences entre les aliments préparés traditionnels à base de sorgho et de mil ont été décrites dans plusieurs ouvrages (Vogel et Graham 1979; Boling et Eisener 1982; Da et al. 1982; Ejeta 1982; Gebrekidan et Gebrehiwot 1982; Mukuru et al. 1982; Obilana 1982; Scheuring et al. 1982; Sidibe et al. 1982). La présente section compare plusieurs aliments préparés à base de sorgho et de mil, pour illustrer l'importance du décorticage dans le processus global de préparation des aliments.

En général, selon la méthode traditionnelle, on décortique le sorgho et le mil en humidifiant d'abord le grain avec de l'eau pour ramollir le péricarpe (voir Fig. 21), en le pilant dans un mortier au moyen d'un pilon pour enlever cette enveloppe, après quoi on le lave ou on le vanne pour le débarrasser du son. On transforme la céréale décortiquée en farine grossière ou fine (réduction en particules) en la pilant ou en utilisant un moulin à marteaux ou à meule pour obtenir une farine sèche, ou un moulin à meules verticales pour obtenir une pâte humide. On peut aussi utiliser un décortiqueur mécanique pour enlever le péricarpe, après quoi on broie le grain à l'état humide ou à sec pour obtenir une pâte humide ou une farine sèche. La farine obtenue à partir de grains décortiqués à l'état humide et la pâte humide ne se conservent pas plus de quelques heures sans perdre leur qualité, leurs propriétés organoleptiques étant différentes de celles d'une farine obtenue par décorticage à sec.

La Figure 2 montre les principaux produits que l'on obtient par les procédés traditionnels et par les procédés mécaniques de décorticage et de broyage. Afin de ne pas rendre le schéma trop complexe, on n'a pas représenté certaines des étapes de la préparation des aliments. Les céréales décortiquées sont utilisées entières, pilées ou moulues pour obtenir des grains concassés ou grossiers, en pâte fine ou en farine fine. Les aliments préparés après un traitement primaire prennent la forme de grains entiers ou concassés bouillis ou cuits à la vapeur, de bouillies fermes ou claires et de pain. Le grain entier malté peut être transformé en une

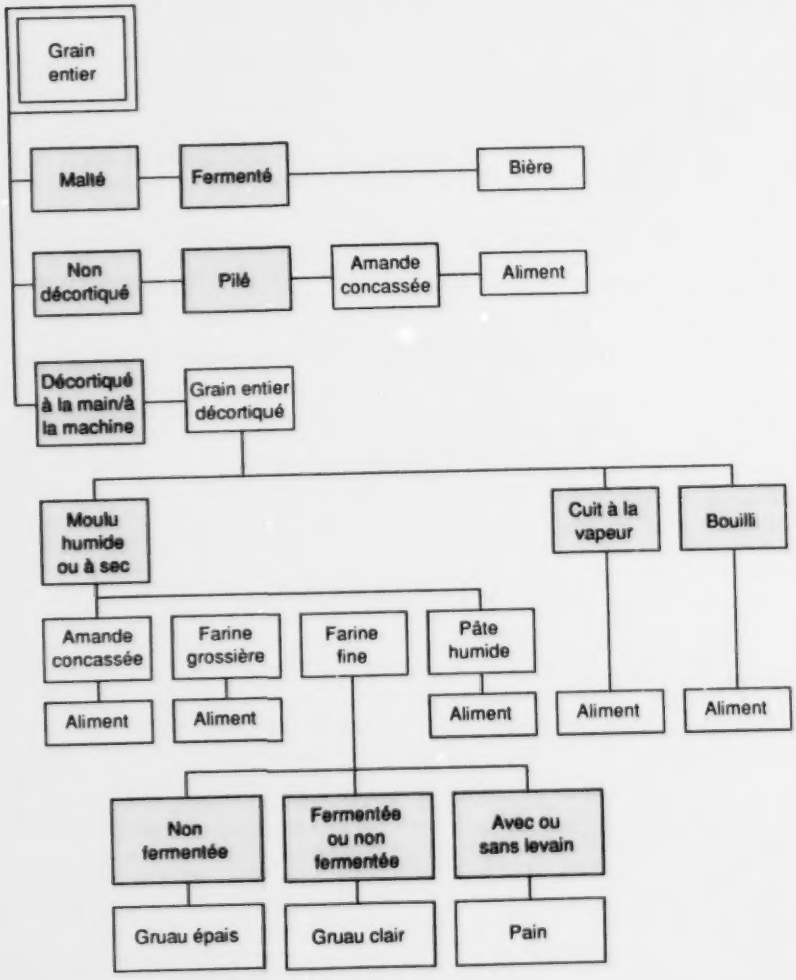

Fig. 2. Principaux produits du traitement primaire du sorgho et du mil (les étapes du processus sont identifiées par des cases ombrées).

farine nutritive. Le grain décortiqué peut aussi être transformé en grain concassé ou fermenté, en vue de la production de boissons alcooliques telles que la bière.

Différents types d'aliments sont préparés à partir du sorgho et du mil (Tableau 3). La plupart des aliments populaires se présentent sous la forme de bouillies fermes ou claires (fermentées ou non fermentées), de pain levé ou non levé, ou de grains entiers décortiqués et bouillis. Même si les aliments que l'on prépare dans différents pays avec le sorgho et le mil se ressemblent, les méthodes de préparation varient. Par exemple, on mange des bouillies fermes de sorgho au Burkina Faso *(tô)*, au Kenya *(ugali)* et au Nigéria *(tuwo)*. Le *tô*, fait de farine de sorgho ou de mil décortiqué, est généralement acide et non fermenté. L'*ugali*, préparé avec de la farine de mil ou de sorgho décortiqué, est généralement au pH neutre, mais on peut ajouter du jus de citron à l'eau de cuisson ou remplacer l'eau par du lait et du ghee. Au Nigéria, on prépare le *tuwo* avec de la farine obtenue en transformant en amidon (par voie humide) les grains de sorgho concassés et décortiqués, puis en séchant et en pilant. Les aliments présentés dans le Tableau 3 sont souvent consommés avec d'autres plats. Ainsi, même si les céréales prédominent dans le régime de beaucoup de gens, ce régime est complété par des légumineuses, des légumes et des oléagineux. Pour juger si le régime d'une population est adéquat du point de vue nutritionnel, il faut donc se baser sur la diversité de ses repas et pas seulement sur la céréale (Futrell et al. 1985).

L'effet que peut avoir le traitement primaire sur le produit alimentaire final est important. Ainsi, un grain peut passer par différentes voies de l'état non décortiqué à l'état moulu (Fig. 2), pour donner en définitive une farine fine ou une pâte humide. Un gruau ferme préparé à partir de pâte humide peut avoir une couleur, un goût, une texture, une qualité de conservation, etc. autres que ceux d'une bouillie préparée avec une farine sèche. Le décorticage mécanique et le broyage à sec peuvent ainsi donner un produit alimentaire que le consommateur ne trouvera pas acceptable.

Il est donc important que le traitement primaire utilisant des machines donne des produits alimentaires très semblables à ceux que l'on obtient par la méthode traditionnelle. Il a été rendu compte de plusieurs études sur cette question, traitant de la préparation de certains plats africains après un décorticage traditionnel ou un décorticage mécanique (Boling et Eisener 1982; Da et al. 1982; Mukuru et al. 1982; Obilana 1982; Scheuring et al. 1982; Reichert et al. 1984b; Haidara et al. 1985). À titre d'exemple, le décorticage mécanique du sorgho n'est pas courant au Nigéria (Obilana 1982): le décorticage traditionnel par voie humide peut produire une fermentation du grain qui lui donne un goût caractéristique, que le décorticage mécanique à sec ne reproduira pas.

Le sorgho, le mil, d'autres céréales et les légumineuses sont décortiqués et moulus par les procédés traditionnels pour préparer des aliments de collation (Vogel et Graham 1979). La plupart des gens ne consomment pas ces préparations comme repas principaux, mais elles sont vendues dans les rues et contribuent au régime du petit déjeuner ou du déjeuner d'une importante proportion de la population urbaine (EPOC 1985).

Une autre importante utilisation du sorgho et du mil dans certains pays est la préparation de boissons locales (Novellie 1982). En général, on fait germer la

Tableau 3. Quelques mets africains à base de sorgho et de mil.

Nom vernaculaire de la préparation	Produit utilisé	Description	Pays
dafa duka, ewa, dahuwa, oka baba	sorgho entier non décortiqué	sorgho bouilli avec haricots, huile, piment, oignon	Nigéria
burabusko	mil entier non décortiqué	mil bouilli avec haricots, huile, piment, oignon	Nigéria
kande	sorgho entier décortiqué	sorgho bouilli, sel et assaisonnement, légumineuses	Tanzanie
mtama mu bufuke	sorgho entier ou concassé, décortiqué	bouilli, pilé avec niébé bouilli, patates douces, bananes ou manioc	Kenya
pate	mil ou sorgho concassé, décortiqué ou non décortiqué	bouilli avec piment, tomates, oignons, sel, épinards, condiments	Nigéria
dura perlé	sorgho ou mil décortiqué	grain bouilli ou cuit à la vapeur	Soudan
uji	farine de mil ou sorgho fermentée ou non fermentée	bouillie claire avec sucre, lait (ou jus de citron)	Kenya, Tanzanie
obungi bwa kalo	farine de mil fermentée	bouillie claire (préparée dans du jus de banane)	Ouganda
obushera	farine grossière de sorgho malté	bouillie claire avec sucre, jus de fruits, bananes écrasées ou lait	Ouganda
edi	farine grossière de sorgho, non fermentée	bouillie claire avec sucre, jus de fruits, bananes écrasées ou lait	Ouganda
akamu, eko, ogi	farine de mil ou sorgho fermentée	bouillie claire avec sucre, lait (ou jus de citron)	Nigéria
koko	farine de mil ou sorgho fermentée	bouillie claire avec boulettes de farine	Nigéria
nasha	farine de sorgho fermentée	bouillie claire sucrée	Soudan
nasha	farine de mil, fermentée ou non fermentée	bouillie claire avec lait ou miel	Soudan
ugali	farine de mil ou de sorgho	gruau ferme (accompagné de sauce)	Kenya, Tanzanie, Ouganda
tuwo	farine de sorgho	gruau ferme (accompagné de sauce)	Nigéria
saino	sorgho concassé	gruau ferme (accompagné de sauce)	Nigéria
dalaki	fécule de sorgho	gruau ferme (accompagné de sauce)	Nigéria
kafa, eku tutu	farine de sorgho	gruau (un peu moins consistant) enveloppé dans des feuilles	Nigéria
kunu zaki	farine de sorgho	gruau ferme (fait de pâte de farine non fermentée) mélangé à de la farine de patates douces après cuisson et laissé reposer une nuit	Nigéria
teso, atap, karo, kwon, kalo	farine de sorgho ou de mil	gruau ferme (peut être mélangé à de la pâte d'arachide ou de sésame, des bananes, du sucre ou des mangues bouillies)	Ouganda
aceda	farine de sorgho ou de mil	gruau ferme	Soudan
waina	farine de sorgho	galette sans levain (épicée et frite)	Nigéria
kisra	farine de sorgho	galette au levain (cuite au four)	Soudan
injera	farine de sorgho	galette au levain (cuite au four)	Éthiopie
maza	farine de sorgho	pain au levain (frit)	Nigéria
mugabi	farine de mil	pain au levain (d'un mélange de farines de mil et de blé)	Ouganda

Source : d'après Vogel et Graham (1979).

céréale non décortiquée, on la sèche, on la pile pour obtenir une farine que l'on mélange avec de l'eau, et on laisse fermenter. On obtient des boissons non alcooliques par fermentation lactobacillique de grain non décortiqué.

Préférences des consommateurs et qualité du grain

Nous venons de voir les divers types d'aliments à base de sorgho et de mil et les méthodes de préparation. Les différences indiquent comment les consommateurs se sont adaptés, peut-être après une certaine sélection, à la qualité de grain disponible. Ils ont ainsi développé certaines préférences qui résultent des méthodes traditionnelles de préparation des aliments.

Un important aspect de la qualité des céréales est l'existence de nutriments et d'autres substances dans le grain avant la cuisson — on trouvera un bon aperçu de la composition du sorgho et du mil dans Hulse et al. (1980). En pratique, le sorgho et le mil contiennent des inhibiteurs nutritionnels dont il faut abaisser le niveau avant de consommer les grains. La présence de polyphénols leur donne un goût amer (Bullard et Elias 1980) et réduit leur digestibilité, ce qui abaisse le niveau d'efficacité protéique chez l'être humain (Hulse et al. 1980; Axtell 1985). Ce problème s'est aggravé lorsque les semenciers ont introduit des céréales à teneur élevée en polyphénols, afin que les oiseaux s'attaquent moins aux récoltes (Bullard et Elias 1980), rebutés par le goût amer des grains. Dans de tels cas, il est possible que le consommateur ne trouve pas acceptables les aliments préparés à partir de ces grains (Price et Butler 1980; Reichert et al. 1980).

Pour éliminer les goûts indésirables dus à la présence de polyphénols dans le sorgho et le mil, la ménagère rurale décortique les grains et laisse souvent fermenter le produit traité. Ces techniques de traitement — décorticage et fermentation — abaissent la teneur en polyphénols (Axtell 1985). Parfois, lorsque les grains à haute teneur en polyphénols ne sont pas acceptables pour la préparation d'aliments, on les fait fermenter pour obtenir de la bière (Vogel et Graham 1979).

Il arrive que les méthodes de préparation des aliments ne laissent pas disponible pour la consommation le niveau optimal de nutriments et réduisent la digestibilité des protéines (Axtell 1985; Rooney 1985). On y remédie partiellement en introduisant de la viande, des légumes et des légumineuses à grains dans les repas à base de sorgho et de mil, et en utilisant certaines techniques de préparation connues pour augmenter la qualité nutritionnelle des aliments (Axtell 1985).

Il convient de mentionner les effets anti-nutritionnels de l'acide phytique dans le sorgho et le mil. Cet acide forme des composés insolubles (phytates) avec des éléments minéraux tels que le calcium, le fer, le magnésium, le sodium et le zinc, les rendant inutilisables par l'être humain. À certains pH, l'acide phytique peut aussi se combiner fortement avec les protéines. Cependant, l'importante proportion d'acide phytique que renferme le grain (40 à 50 % pour le sorgho), peut être sensiblement réduite par le décorticage. C'est le germe du sorgho, par exemple, qui renferme le plus fort pourcentage d'acide phytique, suivi par le son et l'endosperme. Ainsi, le grain décortiqué par la méthode traditionnelle peut avoir

une teneur en acide phytique plus élevée que celui qui est décortiqué par un procédé mécanique. Un résumé utile des études sur l'acide phytique du sorgho et du mil a été présenté par Hulse (1980); voir aussi Doherty et al. (1982).

Le goitre a été relié à la consommation du mil à chandelles (Osman 1981; Osman et Fatah 1981). Gaitan et al. (1986), ayant observé que le mil à chandelles provoque le goitre chez des rats dans des conditions de laboratoire, ont émis l'hypothèse que les C-glycosylflavones (C-GF) pourraient être goitrogènes. Ils ont montré la présence d'une activité goitrogénique et anti-thyroïdienne dans les fractions du son de mil qui contiennent les plus hautes concentrations de C-GF. Cependant, le décorticage réduit fortement la concentration de C-GF, comme l'a indiqué Reichert (1979) (voir la Figure 3, où les concentrations de C-GF sont ramenées d'environ 124 à 60 mg/100g par l'abrasion d'environ 20% du grain), de sorte que la pratique traditionnelle du décorticage dans plusieurs pays d'Afrique devrait réduire ces effets négatifs de la consommation de mil.

Eu égard à la nécessité de réduire le gaspillage dans les pays africains, les possibilités de conservation des différents aliments sont un aspect important de leur préparation. Par exemple, les usagers veulent que les gruaux fermes, comme le *tô* et l'*ugali*, se conservent bien. D'après les publications, la conservation est liée à la vitrosité de l'endosperme; les gruaux fermes, faits de grains à endosperme vitreux, se conservent bien (Da et al. 1982; Mukuru et al. 1982). Par contre, la galette (*injera* d'Éthiopie ou *kisra* du Soudan, par exemple) est plus appréciée lorsqu'elle est faite de sorgho dont l'endosperme est de moindre vitrosité (Da et al. 1982; Mukuru et al. 1982). Hallgreen (1985) a étudié les réactions de consommateurs de sorgho à des plats traditionnels préparés seulement avec de l'endosperme vitreux ou de l'endosperme farineux de sorgho. Certaines caractéristiques typiques du décorticage de grains dont le péricarpe présente différentes caractéristiques (le décortiqueur utilisé étant un Udy à cyclone) sont présentées à la Figure 4. Aussi bien le sorgho Kamboinse Local que le S29 (à péricarpe épais) possèdent de bonnes propriétés de décorticage, et leur qualité convient pour la préparation du *tô*, tandis que le TAM428 et le 77CS2 (à péricarpe mince) possèdent de médiocres propriétés de décorticage (Da et al. 1982). Ces études donnent à penser que la qualité du produit alimentaire final dépend de certaines caractéristiques physiques des grains utilisés; considérant les interactions complexes entre ces deux paramètres, il faut s'attendre à ce que le traitement optimal du grain soit spécifique d'un certain lieu et d'un certain utilisateur. La relation entre la qualité du grain et la qualité des aliments a été étudiée par Rooney et Murty (1982) et Rooney a présenté une bonne synthèse à ce sujet (1984).

Les études sur les préférences des usagers pour un certain aliment montrent qu'elles dépendent de facteurs comprenant la couleur, le goût, le degré de décorticage, la texture, la consistance plus ou moins gluante et la qualité de conservation. Comme il s'est avéré que ces caractéristiques dépendent de la variété de grain utilisée, certaines variétés sont préférées pour certaines préparations (Da et al. 1982; Ejeta 1982; Mukuru et al. 1982; Scheuring et al. 1982). Les consommateurs n'acceptent pas les aliments qui ne sont pas conformes à leurs préférences, ce qui entraîne le rejet de la variété particulière de céréales qui a été employée pour les préparer. Cependant, on travaille à la mise au point de méthodes qui permettront d'établir la relation entre la qualité des aliments,

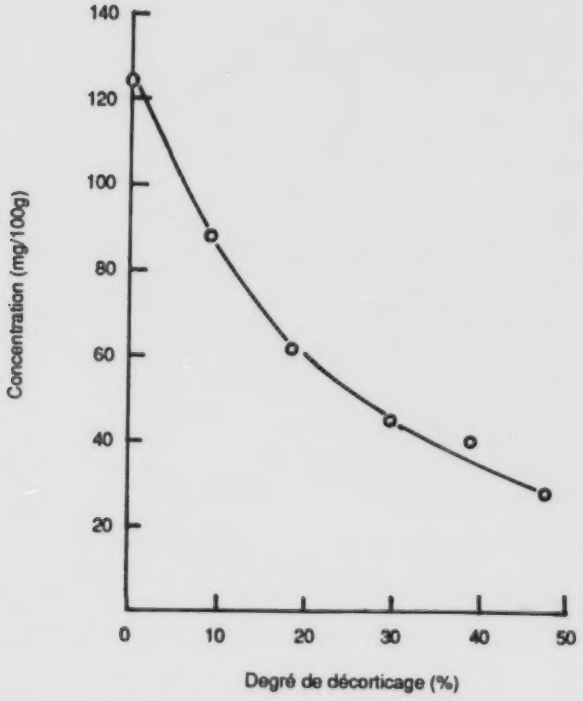

Fig. 3. Concentration totale de C-glycosylflavones dans les grains de mil décortiqués (d'après Reichert 1979).

qui est une mesure de la préférence du consommateur, et la variété des céréales; les semenciers les utiliseront de plus en plus dans les programmes d'amélioration des céréales.

Il ressort de cette analyse que si l'on cherche à remplacer le pilon et le mortier traditionnels par un équipement mécanique de décorticage, il convient de prendre en considération l'ensemble du système alimentaire et pas seulement le produit décortiqué. Il convient d'utiliser le décortiqueur de manière à obtenir un rendement en grain décortiqué égal au taux d'extraction (voir à l'Appendice A les définitions de ces termes), car un décorticage insuffisant risquerait d'entraîner la présence de goûts inacceptables dans l'aliment préparé. Par contre, un grain surdécortiqué ne serait pas acceptable, car la quantité d'aliment obtenue serait trop réduite. Pour déterminer si un décortiqueur se prête à être utilisé dans une localité, il faut l'utiliser d'abord sur les variétés locales.

Nous avons vu dans ce chapitre que de nombreuses publications traitent des aliments traditionnels, de la qualité des grains et des aliments préparés, ainsi que du traitement primaire des grains. Une bonne compréhension des préférences des

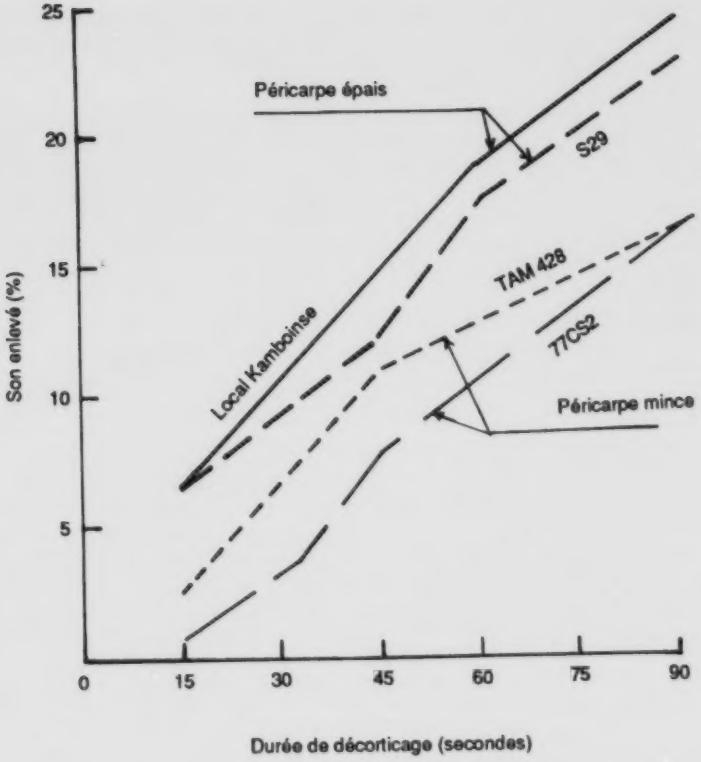

Fig. 4. Pourcentage du son total enlevé de différentes variétés de sorghos au décorticage, dans le cas d'un décortiqueur Udy (d'après Da et al. 1982).

usagers pour certains grains et certaines qualités d'aliments augmenterait les chances qu'ils acceptent le produit obtenu par une nouvelle technique de traitement telle que le décorticage mécanique. Par ailleurs, la diversité des habitudes alimentaires et des goûts fait penser que la meilleure façon de résoudre un problème de traitement est de procéder cas par cas. Par exemple, dans un programme visant à introduire un décortiqueur, il convient de tenir compte des variétés locales de céréales utilisées et des préférences de la population locale pour certains produits traités et pour les aliments préparés en utilisant ces produits.

CHAPITRE 3

ÉVOLUTION DES DÉCORTIQUEURS À SEC À DISQUES ABRASIFS ET APPLICATIONS EN AFRIQUE

Le présent chapitre expose sélectivement quelques programmes de recherche sur la mouture des grains en Afrique qui ont reçu l'appui du CRDI depuis 1972. Tous ces projets sont liés à la perception du besoin de promouvoir la production et l'utilisation des petites céréales — sorgho et mil en particulier — et de légumineuses à grains, aliments de base de populations rurales importantes. L'obstacle majeur au succès de cette promotion semblait être la difficulté du décorticage des grains avant la mouture en farine.

Dans ce chapitre, nous suivrons approximativement l'ordre chronologique, en donnant un aperçu de l'évolution des modèles de décortiqueurs et de leur application à une gamme de problèmes, dans différents contextes nationaux.

Les recherches appliquées ont mis l'accent tout d'abord sur le développement et les essais d'une installation pilote du plus grand des deux types de décortiqueur ; c'est ce que décrit la première section. Différents chercheurs ayant ensuite rencontré de nouvelles conditions sur le terrain, il a été établi qu'un petit décortiqueur était nécessaire. La deuxième section décrit l'évolution de plusieurs variantes d'un petit décortiqueur. On voit se constituer un corpus d'expérience et se créer un réseau de chercheurs qui commencent à collaborer, dans un processus dynamique de solution des problèmes. La dernière section traite brièvement de certaines expériences importantes d'introduction d'installations industrielles ou commerciales de décorticage et de minoteries dans plusieurs pays d'Afrique. Il y sera question aussi de l'application d'autres principes de conception au décorticage des céréales communes.

Pour les deux tailles de décortiqueurs, on verra que l'accent a été mis initialement sur le développement d'une machine appropriée, après quoi des essais pilotes ont été réalisés dans des villages, suivis de l'introduction de cette technologie à plus grande échelle à certains endroits plus ciblés. Cette évolution du processus de recherche axée sur le développement est traitée plus en détail au Chapitre 7.

GRANDS DÉCORTIQUEURS

Nigéria

Entre 1972 et 1976, un projet a été réalisé au Nigéria conjointement par le Ministère fédéral de l'agriculture et des richesses naturelles, le Ministère de l'agriculture et des ressources naturelles de l'État du Nord-Est et le Ministère des coopératives et du développement communautaire de ce même État. Dans le cadre de ce projet, une installation de traitement complète, comprenant un décortiqueur, un moulin à marteaux et un moteur diesel pour actionner les machines, a été établie à Maiduguri. En 1974, le premier décortiqueur a été remplacé par un prototype beaucoup plus efficace, conçu par le PRL, l'actuel

Institut de biotechnologie des plantes (IBP) du Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Il s'agissait d'une version modifiée d'une batteuse à orge utilisée dans certaines installations de traitement canadiennes. Ce décortiqueur PRL a été le premier de la lignée des décortiqueurs à disques abrasifs (Reichert et Youngs 1976, 1977). La première phase du projet de Maiduguri a été consacrée à la mise en place, au fonctionnement et à la gestion du moulin à farine pilote; la seconde phase a porté sur le contrôle de qualité, le développement et les essais de produits, ainsi que l'établissement d'une boulangerie pour la préparation de pain de type nigérian contenant de la farine de sorgho (Steckle et Ewanyk 1974; Anon. 1975; CRDI 1976).

Ce projet, qui a donc porté sur les aspects techniques et économiques de la réalisation et de l'exploitation d'une minoterie, a permis de recueillir des données utiles sur les préférences des consommateurs en matière d'utilisation des céréales et d'appliquer ces connaissances aux choix de production faits par la minoterie, ainsi que d'élaborer de nouveaux produits à base de sorgho, de mil et de maïs dans la cuisine d'essai adjacente à la boulangerie. Des travaux complémentaires, en collaboration, ont été réalisés à l'Université de la Saskatchewan (Canada) sur l'analyse et la mise au point de produits alimentaires à partir des farines de ces céréales.

Ces études ont permis de vérifier que les céréales et les légumineuses indigènes avaient la préférence des ménages de consommateurs; ceux-ci estimaient cependant que le temps nécessaire au traitement des céréales au foyer était une contrainte qui menaçait la consommation de leurs aliments préférés. L'objectif de ces recherches visant à faciliter ou même à remplacer le traitement au foyer était donc validé. Les recherches techniques ont démontré ensuite que les machines de décorticage et de broyage pouvaient produire une gamme de farines (fine, grossière, semoule, etc.) que les ménages trouvaient acceptables et qui pouvaient servir à préparer, comme produits finaux, leurs aliments préférés.

Ces recherches semblent avoir eu des effets sur le reste du Nigéria. Vers la fin de la seconde phase, la National Grains Production Company (NGPC) de Kaduna a construit une installation comprenant deux décortiqueurs du modèle PRL, qui ont été employés pour le décorticage du maïs. Cette dernière activité se poursuit apparemment.

Botswana

Des recherches indépendantes menées en 1974 et 1975 par un économiste agricole canadien ont mis en évidence deux points capitaux (Hamilton, 1975):

- le sorgho était l'aliment de base préféré des populations rurales;
- les schémas de consommation alimentaire rurale s'étaient sensiblement modifiés au cours des années précédentes; principalement parce que le décorticage et la pulvérisation au mortier et au pilon étaient fatigants et prenaient du temps, les femmes achetaient davantage de farine de maïs tamisée prête à cuire et de riz d'importation.

De 1975 à 1978, l'Office de commercialisation agricole du Botswana (BAMB) a établi à son dépôt de Pitsane, dans le sud du pays, une installation de

traitement pratiquement copiée sur le modèle de la minoterie de Maiduguri. Les recherches ont rapidement montré que les ménages urbains et ruraux aimaient la farine de sorgho décortiqué et qu'ils étaient prêts à payer pour cette farine 10 à 20 % de plus que pour la farine de maïs. Dès 1978, l'installation était entièrement sous gestion locale et elle traitait et emballait de 5 à 10 tonnes de farine par jour (BAMB 1982). Cette minoterie ne pouvait fonctionner qu'en continu et ne pouvait pas traiter facilement les petits lots présentés par des particuliers qui demandaient un service de mouture pour « leur » sorgho.

Entre 1978 et 1980, le RIIC a modifié le décortiqueur PRL pour le rendre plus compatible avec les besoins des villages. L'addition d'une trappe a permis le décorticage de petits lots, la cliente pouvant ainsi obtenir un service de mouture de « son » sac de sorgho. Le nouveau décortiqueur RIIC a démontré qu'un service de décorticage et de broyage était réalisable (RIIC 1980a). Répondant à la demande de nombreux investisseurs potentiels, le RIIC est rapidement passé de son premier prototype à la vente d'un ensemble comprenant un décortiqueur, un moulin à marteaux et un moteur (Eisener et al. 1979; RIIC 1980b). Dès 1986, environ 25 petites minoteries étaient en fonctionnement à travers le pays et elles comprenaient 35 décortiqueurs. Une industrie mature de petites minoteries s'est établie dans la populeuse partie orientale du pays. Des recherches ultérieures, en 1983 et 1985, ont permis de perfectionner la conception du décortiqueur et de renforcer les techniques de fabrication du RIIC.

En 1983, les propriétaires de minoteries ont constitué la Botswana Mill Owners' Association (BMOA) pour renforcer leur jeune industrie et former un groupe de pression capable d'influencer les politiques gouvernementales en matière de fixation des prix et d'offre du sorgho, et pour rendre la farine de sorgho largement disponible dans tous le pays. L'association publiait un bulletin trimestriel, *Milling News*.

Le décortiqueur RIIC a établi un précédent enviable, en donnant un précieux exemple d'une succession de recherches axées sur le développement qui ont été menées avec succès, y compris la diffusion du matériel à de nouveaux entrepreneurs. L'« expérience du Botswana » a été bien documentée dans la littérature informelle (Forrest et Yaciuk 1980; Narayan-Parker 1981, 1982; Hardie 1982; Fastenau 1983; PFP 1983; Schmidt 1983; Morei 1985; Gibbs 1986), mais très peu dans les publications plus formelles (Eastman 1980; Whitby 1985; Schmidt 1988). Les comptes rendus informels ont été largement diffusés dans le Tiers Monde auprès des chercheurs. L'ensemble de l'expérience intéresse de multiples disciplines scientifiques mais n'a pas fait l'objet de communications efficaces dans les milieux universitaires des sciences appliquées et des sciences sociales, alors qu'elle est bien connue des agents qui travaillent dans le domaine du développement.

Ghana

Des recherches ont été entreprises en 1976 au Food Research Institute sur l'emploi d'un décortiqueur PRL pour le décorticage du niébé (voir aussi Reichert et al. 1979). Elles ont montré que la machine était techniquement capable de décortiquer cette légumineuse commune, de façon au moins aussi rentable que les pratiques existantes à forte intensité de travail. Le projet était la suite logique

du travail de documentation dont l'utilisation du niébé avait fait l'objet (Dovlo et al., 1976). Du fait des changements économiques et politiques survenus dans ce pays, ces travaux n'ont pas pu être rapidement menés à bonne fin, mais nous croyons savoir qu'ils se poursuivent.

Sénégal

En 1979, le Centre national de recherche agronomique (CNRA) de Bambey a commencé à utiliser le décortiqueur PRL pour le décorticage du sorgho et du mil (Mbengue 1985). Ce décortiqueur est toujours en activité; un meunier l'utilise actuellement pour approvisionner le marché local de la ville de Bambey, bien que sa capacité soit supérieure à la demande de ce marché. Un autre facteur qui contribue à la sous-utilisation du décortiqueur est qu'il ne peut pas traiter les petits lots. Or, les clients potentiels tiennent à ce que leur propre grain leur soit retourné. Le modèle RIIC, plus récent, serait plus compatible avec ces exigences.

Après ces premiers travaux, de nouvelles recherches ont été entreprises en 1985 et poursuivies conjointement par la Société industrielle sahélienne de mécaniques, de matériels agricoles et de représentations (SISMAR) et par le CNRA, élément de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA). Ces recherches portent sur la mise au point d'un décortiqueur de taille moyenne, qui devrait mieux convenir aux niveaux de densité démographique du Sénégal et des pays voisins.

Soudan

Le Food Research Centre (FRC) s'était montré intéressé en 1979 à comparer l'efficacité de plusieurs décortiqueurs: le modèle PRL (construit par Nutana Machines Ltd., 2615 1st Avenue North, Saskatoon, SK, Canada S7K 6E9), le modèle RIIC (également construit, dans ce cas, par Nutana Machines, car le RIIC répondait d'abord à la demande du Botswana), le décortiqueur (appelé parfois à tort décortiqueur «FAO») fabriqué par la Société française Fondateur de l'atelier de l'ouest (et distribué par la Société Comia-Fao SA, 27, boulevard de Chateaubriant, 35500 Vitre, France), une version ultérieure plus petite (Mini-PRL) développée par le PRL et jugée appropriée pour l'utilisation en laboratoire (construite par Nutana Machines) et le Decomatic Sheller (fabriqué par Bernhard Keller AG, Herostrasse 9, CH-8048 Zurich, Suisse), faisant partie d'un système industriel de traitement du sorgho fourni par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

On pensait qu'en comparant les coûts d'exploitation, la consommation d'énergie, la facilité de fonctionnement, les différents types de matériaux abrasifs et les différents principes de conception, on obtiendrait d'importantes indications pour l'orientation des recherches ultérieures. Le FRC, après ces essais réalisés essentiellement en laboratoire, se proposait d'installer un de ces décortiqueurs en situation de fonctionnement dans un village. Le Soudan, le plus gros producteur de sorgho d'Afrique orientale, semblait être l'endroit idéal pour ces recherches appliquées. Il s'est révélé impossible de mener à bien l'évaluation comparative, mais le FRC continue à décortiquer le sorgho et produit à une modeste échelle commerciale, pour le marché urbain, du pain de blé et de sorgho mélangés.

Tanzanie

Dans le cadre de la première phase d'un projet, de 1979 à 1982, un équipement du modèle RIIC (fabriqué par Grain Process Enterprises Ltd, 39 Golden Gate Court, Scarborough, ON, Canada M1P 3A4) a été installé dans une localité rurale de la région de Morogoro. Les chercheurs de la Small Industries Development Organization (SIDO) comptaient utiliser cette petite installation (ressemblant à celle de l'Office de commercialisation agricole du Botswana) pour soutenir les efforts de la National Milling Corporation qui cherchait à populariser la farine de sorgho sur des marchés principalement urbains. Pour diverses raisons structurelles et économiques, la coopération espérée entre ces deux organismes ne s'est pas concrétisée.

Au cours de ce projet, on a appris combien il est important de bien circonscrire un problème pour définir la portée des recherches appliquées qui seront nécessaires. Cette phase particulière des recherches était sans doute beaucoup trop axée sur la technologie et trop peu axée sur le problème. Une deuxième phase du projet, entreprise en 1982, portait sur l'installation de quatre minoteries pilotes du type RIIC dans des localités très rurales (SIDO 1982–1986). De plus, les chercheurs s'occupent de la formation de collègues régionaux de la SIDO pour s'occuper de dix autres installations rurales. Les avis demeurent partagés sur la question de savoir si l'existence d'une demande effective de décortiqueurs a été largement démontrée. Les décisions nationales en matière d'investissements dépendront de la mise en évidence d'une demande effective ainsi que du sort des décisions de politique concernant les nouvelles propositions relatives à une stratégie pour les céréales résistantes à la sécheresse. Le département des Sciences et techniques de l'alimentation de l'Université Sokoine d'agriculture à Morogoro a réalisé des recherches sur l'utilisation du sorgho, parallèlement au projet en deux phases de la SIDO portant sur les minoteries (Bangu 1981–1986).

Éthiopie

En 1980, vers la fin d'un projet en trois volets pour l'amélioration du sorgho mené par l'Université d'Addis Ababa (dont les travaux sont maintenant poursuivis par l'Institute of Agricultural Research, IAR), l'Ethiopian Nutrition Institute (ENI) a entrepris des recherches sur l'utilisation du sorgho. Initialement orientés vers le consommateur urbain, ces travaux ont démontré qu'il était techniquement possible de préparer le plat national *injera* en utilisant une farine composite de sorgho, le *teff*; ils ont démontré aussi que, du point de vue nutritionnel, le sorgho local décortiqué peut être substitué de façon satisfaisante au blé importé dans le *faffa*, un aliment de sevrage pré-mélangé (ENI 1981–1986; Svanberg 1983a, b; Zewdie 1984). Les recherches, qui ont compris certains travaux sur l'utilisation rurale du sorgho, évoluent dans le sens de l'introduction pilote de petits décortiqueurs dans les régions rurales. En 1982, l'Institut de recherche pour le développement (IDR) de l'université a inauguré une installation pilote comprenant un décortiqueur RIIC au sein d'une minoterie rurale complète.

L'avancement de ces recherches dans ce pays a été gravement compromis par les famines provoquées par la sécheresse, mais des connaissances utiles ont été acquises (Shiferaw Gurmu 1986; Dejene Aredo 1987).

Kenya

En 1981, au Kenya, un modèle RIIC de décortiqueur a été importé dans le cadre du *Projet de développement des cultures de sorgho et de mil*, sous les auspices de la FAO; ce décortiqueur est régulièrement utilisé depuis lors à l'Institut de recherche et développement industriels du Kenya (KIRDI). Le CRDI a apporté son appui pour la formation d'un technicien au RIIC du Botswana. Avec l'appui financier de la Communauté économique européenne (CEE) et en collaboration avec l'Overseas Development Natural Resources Institute (ODNRI, ex Tropical Development and Research Institute, TDRI), qui a son siège au Royaume-Uni, le KIRDI se livre à des recherches visant à établir si l'introduction de sorgho décortiqué complet sur le marché urbain peut créer une demande soutenue pour l'excédent de production de sorgho dans les régions arides. Un rapport final doit être publié prochainement.

Mini-décortiqueurs

Les chercheurs ont commencé à reconnaître les limitations liées à la taille du décortiqueur RIIC dans les régions à population dispersée. La viabilité économique du décortiqueur (et du matériel nécessaire en complément) dépend de la quantité de grain traitée quotidiennement. Si on voulait, par exemple, que le décortiqueur RIIC fasse partie d'une minoterie publique économiquement viable, il faudrait l'implanter à un endroit aisément accessible (à distance de marche) pour 8000 à 10000 personnes. Beaucoup de régions rurales n'ont pas une telle densité de population.

Des chercheurs de Gambie et du Zimbabwe ont donc étudié le potentiel d'un petit décortiqueur conçu par le PRL du CNRC (Reichert et al. 1984b). Ce petit modèle pourrait-il répondre aux besoins de populations très dispersées? Des recherches appliquées qui sont actuellement réalisées sur des minoteries rurales des deux pays indiquent que les deux démarches différentes qui ont été suivies pour modifier le décortiqueur Mini-PRL et le rendre plus robuste sont efficaces. Les recherches, effectuées là où se trouvent les usagers, confirment qu'il existe un problème de traitement au foyer, que les consommateurs acceptent le produit final pour leur famille et que les propriétaires de minoterie peuvent obtenir un revenu régulier et suffisant en fournissant un service de mouture.

Gambie

En Gambie, les Services de secours catholique (CRS), après des essais approfondis d'un décortiqueur Mini-PRL dans les conditions de demande d'un village (il a décortiqué 50 tonnes de mil à chandelles en 12 mois), ont trouvé le modèle Mini-PRL trop peu robuste (Nance et Colley 1985). Le modèle modifié Mini-CRS est actuellement à l'essai dans d'autres villages, dans le cadre d'un régime communautaire de propriété et de gestion. Sur la base d'une estimation des besoins en mini-décortiqueurs à l'échelle du pays, une collaboration s'est établie dès le début avec des ateliers locaux pour la construction et la modification des prototypes. Des entreprises locales de fabrication seront intégrées au système d'apport de technologie qui est maintenant en voie d'être

systématiquement développé, car les modifications apportées sont adaptées aux possibilités locales de fabrication.

Zimbabwe

Au Zimbabwe, des démonstrations d'un modèle Mini-PRL ont été faites à des communautés rurales dans le cadre d'un processus de recherches qui a confirmé que ces communautés ont généralement conscience de l'existence d'un besoin potentiel de services de décorticage pour les régions rurales. Les renseignements recueillis lors des réunions dans les villages et des entrevues avec des propriétaires de moulins à marteaux ont abouti à une stratégie selon laquelle des décortiqueurs seront ajoutés, comme installations pilotes, à ces meuneries rurales existantes. Des modifications ont été apportées très tôt par un organisme non gouvernemental, le groupe de recherche ENDA–Zimbabwe (Environment Development Activities), ce qui a donné le décortiqueur Mini-ENDA. Les principes de ces modifications ont été testés en ce qui concerne les possibilités de fabrication artisanale dans le secteur informel du travail du métal à Harare, grâce à l'appui financier d'un organisme des États-Unis, Appropriate Technology International (ATI).

Actuellement, le Mini-ENDA est à l'essai dans cinq localités rurales, en propriété communale ou individuelle. Dans le cadre de ces essais, des systèmes de gestion commerciale sont élaborés, les réactions de la clientèle sont étudiées et les performances techniques du mini-décortiqueur sont suivies de près. À l'occasion d'entrevues avec la clientèle, les chercheurs se documentent sur l'économie de temps de travail au foyer qui est réalisée et recueillent des renseignements sur les cultivars locaux de sorgho et de mil (ENDA 1988). Le Zimbabwe a acquis une expertise croissante de tous les aspects des Mini-ENDA, ce qui lui a valu le financement par l'Agence canadienne de développement international (ACDI) d'une diffusion à plus grande échelle des décortiqueurs à disques (Mini et RIIC) chez les exploitants ruraux et urbains de moulins à marteaux.

Sénégal

Des chercheurs de SISMAR et du CNRA–ISRA ont développé plusieurs prototypes qu'ils ont mis à l'essai dans des conditions de laboratoire rigoureuses, puis sélectionné un modèle pour des essais dans des villages. Le Mini-SISMAR/ISRA I a été construit et installé dans dix villages et fait actuellement l'objet d'évaluations (Mbengue, 1986). Sur la base des résultats obtenus, un décortiqueur moins coûteux, pouvant avoir de meilleures performances, a été mis au point: le Mini-SISMAR/ISRA II qui sera fabriqué par SISMAR. Les travaux se poursuivent pour établir des installations de production de ce décortiqueur, qui assureront un plus faible coût unitaire et un bon contrôle de qualité.

Sommaire

Cette description des décortiqueurs grand modèle et des mini-décortiqueurs donne un aperçu de l'évolution et de l'application de différents modèles, permettant de se faire une idée à la fois de l'ingéniosité des chercheurs et des différents contextes dans lesquels se trouvent les usagers; cependant, cette revue

Tableau 4. Décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique.

Pays	Date	Type de décortiqueur	Application
Nigéria	1972–1976	2 modèles PRL du Canada à Maiduguri	Sorgho, mil, niébé, maïs
	1978	2 modèles PRL du Canada	Maïs, en usine à Kaduna
Sénégal	1973	1 modèle PRL du Canada	Sorgho, mil, maïs
	1985	2 modèles PRL du Canada	Sorgho, mil, maïs
	1987	10 modèles Mini-SISMAR/ISRA I construits au Sénégal	Sorgho, mil, maïs
		1 modèle Mini-SISMAR/ISRA II construit au Sénégal	Sorgho, mil, maïs
Botswana	1976–1978	2 modèles PRL du Canada	Sorgho
	1978–1985	Développement du modèle RIIC et fabrication de 36 pour le Botswana; exportation de 50 dans des pays voisins	Sorgho
	1979	1 Mini-PRL du Canada	Sorgho, expérimental
Gambie	1982	1 Mini-PRL du Canada	Mil, sorgho
	1985–1986	Plusieurs Mini-CRS modifiés de fabrication locale	Mil, sorgho
Ghana	1977	1 modèle PRL du Canada	Niébé
Tanzanie	1979–1982	2 de type RIIC du Canada	Sorgho, un peu de maïs
		4 modèles RIIC de construction locale	Sorgho
	1981	1 Mini-PRL du Canada	Sorgho, utilisation à l'université
	1985	10 modèles RIIC achetés au Botswana	Sorgho
Burkina Faso	1980	1 Mini-PRL du Canada	Sorgho, niébé, mil — recherche

Éthiopie	1980	1 modèle RIIC du Canada	Amélioration du sorgho
	1981, 1983	2 Mini-PRL du Canada	1 rural, 1 laboratoire
	1983	1 modèle RIIC du Canada	Sorgho, maïs, orge — minoterie rurale
	1984	1 modèle RIIC du Canada	Aliment de sevrage
	1985	1 Mini-PRL du Canada	Minoterie rurale
		1 Mini-PRL de construction locale	Rural — orge, lentilles
Soudan	1980	1 modèle PRL du Canada	Sorgho
	1980	1 modèle RIIC du Canada	
	1980	1 Mini-PRL du Canada	
Kenya	1981	1 modèle RIIC du Canada	Sorgho
	1983	5 de construction locale, d'après les plans du RIIC	Sorgho, maïs, légumineuses
Égypte	1982	1 Mini-PRL du Canada	Féveroles — laboratoire
Mali	1982	1 Mini-PRL du Canada	Sorgho — recherche
		1 RIIC du Canada	Sorgho, mil
	1987	1 Mini-CRS de Gambie	Sorgho, mil
Zimbabwe	1984	1 RIIC du Botswana	Mil
		1 Mini-PRL du Canada	Sorgho, mil
	1985–1986	7 Mini-ENDA de construction locale	Sorgho, mil — minoterie rurale
Somalie	1985	1 Mini-PRL du Canada	Sorgho
Ouganda	1985	Mini-PRL du Canada	Amélioration — sorgho, mil
	1986	1 RIIC du Canada	Maïs, sorgho
Malawi	1986	2 RIIC du Botswana	Maïs, sorgho
		1 Mini-ENDA du Zimbabwe	Maïs, sorgho

n'est pas exhaustive. Le CRDI accorde son appui à des recherches effectuées au Burkina Faso, au Malawi, au Mali, au Niger et en Zambie, portant sur des essais pilotes de décortiqueurs et sur l'introduction de ce matériel. L'ATI appuie l'introduction de décortiqueurs au Cameroun et au Mali, en utilisant le modèle Mini-CRS. Le Tableau 4 donne une liste plus complète des endroits où fonctionnent des décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique.

Une importante évolution s'est produite au cours des années où ont eu lieu les activités ici résumées. Même au cours du développement et du perfectionnement des divers modèles de décortiqueur, les recherches sont passées du laboratoire au domaine des bénéficiaires visés. Les chercheurs comprennent de mieux en mieux les réalités et les besoins ruraux, et le rôle qu'une recherche technique soigneusement centrée peut jouer pour répondre à ces besoins. Des discussions ont lieu de plus en plus fréquemment sur l'adaptation aux besoins ruraux, sur le concept de système alimentaire, ainsi que sur l'utilisation, la commercialisation et la distribution.

Interventions techniques simultanées et complémentaires

Le CRDI n'est pas le seul organisme qui s'intéresse au traitement du sorgho et du mil. Des recherches appliquées ont été effectuées ces vingt dernières années par des chercheurs nationaux, par des organismes internationaux et par des sociétés privées sur d'autres modèles de décortiqueurs. Cependant, la plupart de ces activités ont été ciblées sur le consommateur urbain. Les résultats ont été variés: dans certains cas, le gros équipement à l'échelle industrielle a prouvé son aptitude technique à produire des farines que le consommateur trouve acceptables, tandis que dans d'autres cas les produits n'ont pas répondu à ses attentes. Dans bien des cas, l'équipement reste sous-utilisé parce que l'excédent de grains que les agriculteurs font parvenir en ville est insuffisant. Les politiques des prix, les problèmes de transport et l'absence de normes de classement du sorgho et du mil contribuent à cette sous-utilisation.

Le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et la FAO ont établi des projets de *Recherche et développement sur les produits du mil et du sorgho pour applications industrielles* au Sénégal (1970–1974) et au Soudan (1975–1980) (Kouthon 1984; Perten 1984). Ces projets sont liés aussi au programme de la FAO sur les *Farines composites* (CEA 1985). Des fabricants, européens et autres, d'installations complètes de minoterie ont effectué dans certains pays africains des ventes limitées de gros équipement destiné à être utilisé pour le sorgho et le mil. Reichert (1982) a présenté de courtes descriptions des spécifications et des concepts de fonctionnement de ces décortiqueurs industriels.

Par ailleurs, le modèle Engleberg de décortiqueur à riz est construit en Afrique de l'Ouest (Abidjan Industries, BP 343, Abidjan, Côte d'Ivoire) et utilisé comme décortiqueur par voie humide pour le mil à chandelles et le sorgho. Le même type de machine est employé occasionnellement en Afrique orientale et australe comme décortiqueur à sec ou par voie humide pour le maïs et il est fabriqué par plusieurs entreprises de cette région. Le décortiqueur fabriqué par la société française Fondateur de l'atelier de l'ouest et commercialisé par l'ex-entreprise parastatale sénégalaise SISCOMA (maintenant SISMAR), avait été adopté dans ce pays à une échelle limitée et semble être tombé en désuétude (Diouf et Berthe 1985).

CHAPITRE 4

MODÈLES DE DÉCORTIQUEURS À SEC À DISQUES ABRASIFS

Tous les décortiqueurs à disques abrasifs dont il a été question au Chapitre 3 sont fondamentalement d'une même conception et fonctionnent sur le même principe. Les variations dans les modèles, dont il va être question ci-après, sont destinées à permettre :

- *de traiter de façon économique les quantités de grain disponibles à différents endroits ;*
- *de réduire le temps de traitement ;*
- *d'améliorer la qualité du produit décortiqué ;*
- *de rendre le décorticage plus efficace ;*
- *de réduire les frais de fabrication et de fonctionnement.*

Le présent chapitre donne tout d'abord une description des principales caractéristiques de conception et de fonctionnement de cette famille de décortiqueurs, en montrant leur simplicité mais en soulignant la nécessité de comprendre la complexité des interactions entre leurs différents éléments et les grains à décortiquer. On trouvera ci-après la description des décortiqueurs grand modèle mis au point au Canada (PRL et Nuhull) et au Botswana (RIIC), et celle des mini-décortiqueurs du Canada (Mini-PRL), de Gambie (Mini-CRS), du Zimbabwe (Mini-ENDA), et du Sénégal (Mini-SISMAR / ISRA I et II), dont les principales caractéristiques physiques et de fonctionnement seront expliquées. L'importance d'adopter une approche méthodologique pour la conception et le développement des décortiqueurs à disques abrasifs sera ensuite soulignée, sur la base d'exemples concrets.

CONCEPTION GÉNÉRALE ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Le modèle de base du décortiqueur à disques abrasifs (Fig. 5) est constitué d'une auge en tôle d'acier doux de qualité légère, à fond semi-circulaire, partie supérieure rectangulaire et plaques latérales verticales, dans laquelle plusieurs disques abrasifs (ainsi appelés à cause de leur forme en roue ou en disque), séparés par des espaceurs de métal léger, aluminium par exemple, sont montés sur un arbre horizontal reposant sur les plaques latérales des deux côtés opposés de l'auge, en passant par des trous. Les disques abrasifs sont fixés en place de façon à ne pas pouvoir glisser sur l'arbre; celui-ci est fixé en position de telle sorte qu'il existe constamment un dégagement entre la circonférence extérieure des disques et la partie semi-circulaire de l'auge. L'espacement entre les disques étant généralement constant, le nombre de disques installés dans le décortiqueur dépend de la longueur de l'auge et de l'épaisseur des disques employés.

Lorsque la machine est en fonctionnement, le grain, dont la quantité dépend des dimensions de l'auge, est chargé dans la machine jusqu'au niveau de l'arbre et les disques abrasifs tournent sur leur axe horizontal en étant mus par

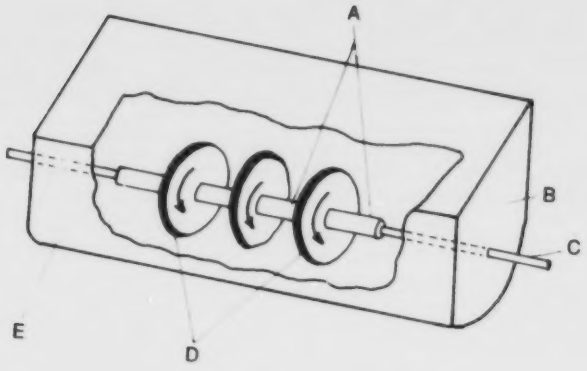

Fig. 5. Principe de base du décortiqueur à disques abrasifs. A, espaceurs ; B, plaque latérale ; C, arbre ; D, disques abrasifs ; E, auge.

un moteur électrique ou un moteur couplé à l'arbre par une courroie d'entraînement. Les disques abrasifs, partiellement enfouis dans les grains, les mélangent et enlèvent leur péricarpe lorsque celui-ci entre en contact avec la surface rugueuse du disque. De plus, le frottement entre les grains, pendant le décorticage, contribue aussi à l'enlèvement du péricarpe (voir de plus amples explications au Chapitre 5).

Le matériel enlevé par abrasion du fait de ces interactions machine–grain et grain–grain forme de fines particules de poussière. Dans certains décortiqueurs, le son, plus léger, est aspiré par un ventilateur pendant le décorticage, passe par un cyclone et est recueilli dans des sacs. Ces machines donnent des grains décortiqués entiers, exempts de particules de poussière, pouvant se déverser de l'auge en continu ou être vidés après le traitement. Les décortiqueurs sans aspiration produisent des grains décortiqués dont il faudra séparer le son par vannage ou tamisage mécanique ou à la main. L'intégration de l'aspiration dans le décortiqueur et le mode de fonctionnement de celui-ci, par lots ou en continu, dépendent de l'échelle des opérations et de facteurs socio-économiques qui seront examinés plus loin.

Le rendement des décortiqueurs à disques abrasifs dépend d'une dizaine de facteurs :

- vitesse de rotation des disques ;
- caractéristiques physiques de la surface des disques, telles que la rugosité et la dureté ;
- nombre et diamètre des disques en rotation dans l'auge, correspondant à la surface totale disponible pour le décorticage ;
- espacement entre les disques ;

- dégagement entre la périphérie des disques et l'auge;
- présence ou absence d'aspiration;
- caractéristiques physiques de la paroi interne de l'auge;
- taux d'alimentation des grains dans le décortiqueur fonctionnant en mode continu et quantité de grains dans le décortiqueur en mode par lots;
- durée de séjour ou de rétention du grain dans le décortiqueur;
- caractéristiques du grain.

Les deux types fondamentaux de disques abrasifs utilisés dans les décortiqueurs sont les meules et les disques légers (couramment employés en métallurgie), qui existent en différentes tailles et avec différentes caractéristiques de surface.

Exemples de meules:

- meules de carborundum, diamètre 30,5 cm, épaisseur 3,2 cm, faites d'abrasif de carbure de silicium à grain extra gros (85 % de leur composition totale), avec agglomérant d'argile vitrifiée;
- meules de carborundum de 25 cm de diamètre et 2,0 cm d'épaisseur, faites d'abrasif de carbure de silicium à grain fin.

Exemple de disques légers:

- disques de résinoïde de 30,5 cm de diamètre et 0,64 cm d'épaisseur, faits d'un abrasif d'oxyde d'aluminium à grain moyen (67 %) et d'un agglomérant de résine formaldéhyde polymérisée (14 %) et de fluorite (spathfluor) (10,6 %), renforcés de fibre de verre (7 %) qui améliore la résistance.

Les différents types de disques abrasifs et les méthodes qui permettent de caractériser la nature physique de leur surface sont expliqués de façon plus complète au Chapitre 5, mais il importe de souligner la nécessité d'avoir plus de connaissances sur le meilleur choix pour une application donnée. Les disques légers (de résinoïde par exemple) causent moins de tensions mécaniques sur l'arbre rotatif, dont le diamètre peut être réduit, ce qui abaisse les frais de fabrication. De plus, un arbre garni d'une série de ces disques légers peut tourner beaucoup plus vite qu'un arbre portant des meules plus lourdes.

Description des différents modèles

Les huit décortiqueurs à disques abrasifs qui ont jusqu'à présent influencé le décorticage mécanique dans différents pays d'Afrique seront décrits dans cette section. Leurs différences physiques sont le résultat des habitudes de décorticage et des schémas de consommation locaux, des conditions économiques et sociales locales, des disponibilités en personnel technique et des compétences en matière de conception et de fabrication, des préférences de conception des ingénieurs et des chercheurs qui ont développé les décortiqueurs, ainsi que des essais sur le terrain. Les décortiqueurs de grande taille (PRL, RIIC et Nuhull) conviennent mieux pour le traitement à l'échelle industrielle, tandis que les différents

mini-décortiqueurs qui sont maintenant employés se prêtent à des applications à petite échelle (on trouvera à l'Appendice C les noms et adresses des organismes de développement et des fabricants de décortiqueurs).

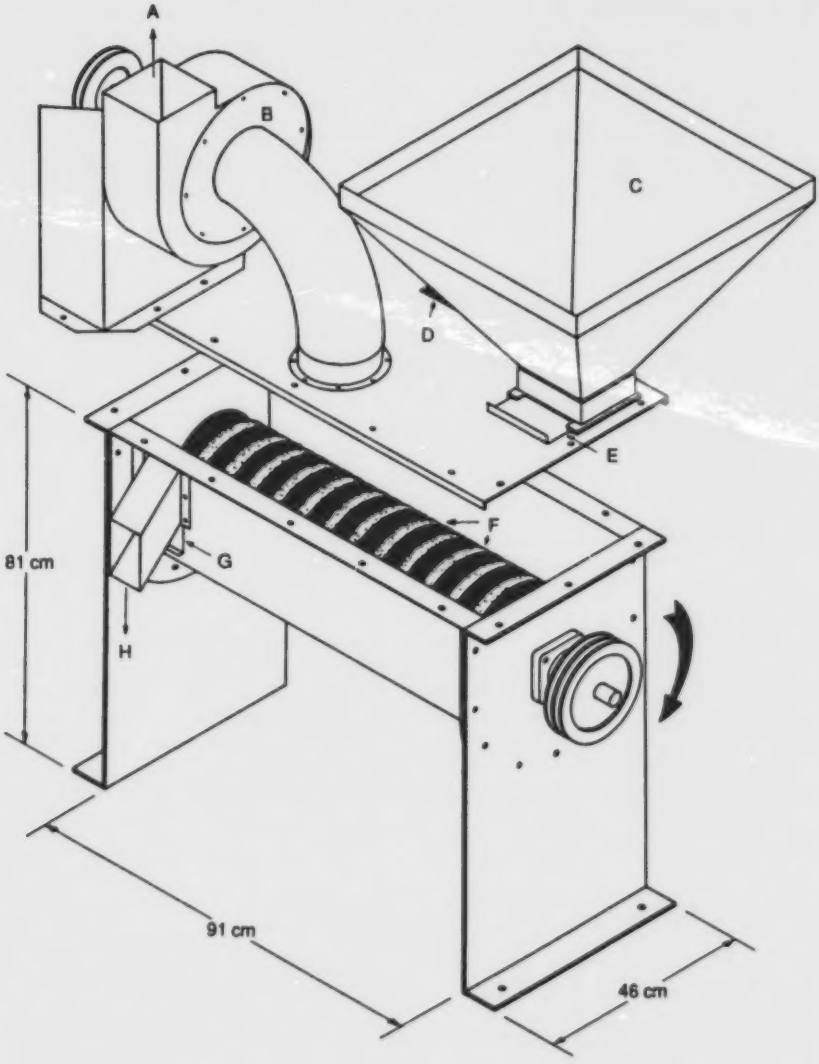

Fig. 6. Écorché du décortiqueur PRL (d'après Eastman 1980). A, son envoyé vers le cyclone ; B, ventilateur ; C, trémie à grain ; D, admission d'air ; E, volet de réglage d'alimentation ; F, disques de résinoïde ; G, ouverture réglable ; H, déversement du grain décortiqué.

Le décortiqueur PRL

Le décortiqueur PRL (Fig. 6) est une version modifiée de la batteuse à grain George Hill (Reichert et Youngs, 1976). L'auge, de 86 cm de long × 36 cm de large × 43 cm de haut, contient 13 meules de carborundum de 30,5 cm de diamètre × 3,2 cm d'épaisseur, séparées par des espaceurs d'aluminium de 1,5 à 3,0 cm d'épaisseur, sur un arbre de 5,08 cm. Le dégagement entre les disques abrasifs montés et les parois intérieures de l'auge, recouvertes d'un revêtement de caoutchouc de 0,64 cm d'épaisseur, varie entre 1,5 et 3,0 cm. Les dimensions de l'auge sont légèrement différentes dans certains des décortiqueurs qui ont été construits et des disques de dimensions différentes ont été utilisés.

Lorsque le décortiqueur est en fonctionnement, les disques tournent à une vitesse de 900 à 1 300 tours/minute selon les caractéristiques du grain traité. On charge le grain dans la trémie et on ouvre le volet d'alimentation pour le laisser entrer dans l'auge. Cette charge initiale est retenue jusqu'à ce que le temps de rétention approprié soit écoulé. Pour réaliser le décorticage en continu, on fait correspondre les réglages des volets d'entrée et de sortie, de telle sorte que le décortiqueur soit toujours suffisamment plein.

Les grains décortiqués s'écoulent par une sortie située à l'extrémité de l'auge, à l'endroit le plus éloigné de la trémie d'alimentation. Le son, sous la forme de matériau fin, est séparé par aspiration du grain décortiqué, par un système de ventilateur et de cyclone. Le ventilateur est mû par un système de courroie et de poulie, relié à l'arbre sur lequel sont montés les disques. Une puissance d'environ 8 cv (1 cv = 746 W) est nécessaire pour entraîner l'arbre en charge. Le sens de rotation de l'arbre (Fig. 6) permet au ventilateur de produire l'aspiration. On obtient des niveaux optimaux de circulation d'air et d'enlèvement du son en réglant l'admission d'air et les volets de sortie, ainsi que la vitesse de rotation du ventilateur.

La capacité type du décortiqueur PRL est de l'ordre d'environ 250 à 500 kg l'heure à une vitesse d'environ 1 000 tours/minute si l'on utilise des meules, mais cela dépend du type et de la variété du grain qui est traité. Dans ces conditions de fonctionnement, on peut envisager des taux d'extraction de 70 à 85 %. La quantité minimum de grain qui peut être décortiquée est d'environ 20 kg.

Le décortiqueur RIIC

La machine RIIC, développée par le RIIC au Botswana, est également appelée décortiqueur PRL/RIIC (Dovlo et al., 1976; Eastman, 1980) ou décortiqueur RIIC/PRL. Cette machine a des caractéristiques analogues à celle du décortiqueur PRL (Fig. 7), mais l'auge est plus petite (64 cm de long × 30 cm de large × 33 cm de haut); cependant, ces dimensions varient légèrement selon les modèles. Une trappe située dans le bas de l'auge permet de vider la machine après un décorticage par lot. Treize meules de carborundum, de 25,4 cm de diamètre et 2 cm d'épaisseur chacune, sont montées sur un arbre de 3,81 cm de diamètre. En fonctionnant à pleine charge, le décortiqueur a besoin d'une puissance d'environ 8 cv pour faire tourner les disques à environ 2 000 tours/minute pendant le décorticage. La capacité peut atteindre 800 kg/heure, selon le type de grain et la vitesse d'extraction requise, en fonctionnement continu. Dans le mode par lots, la machine peut décortiquer une quantité minimum de 5 kg de grain en 3 minutes approximativement.

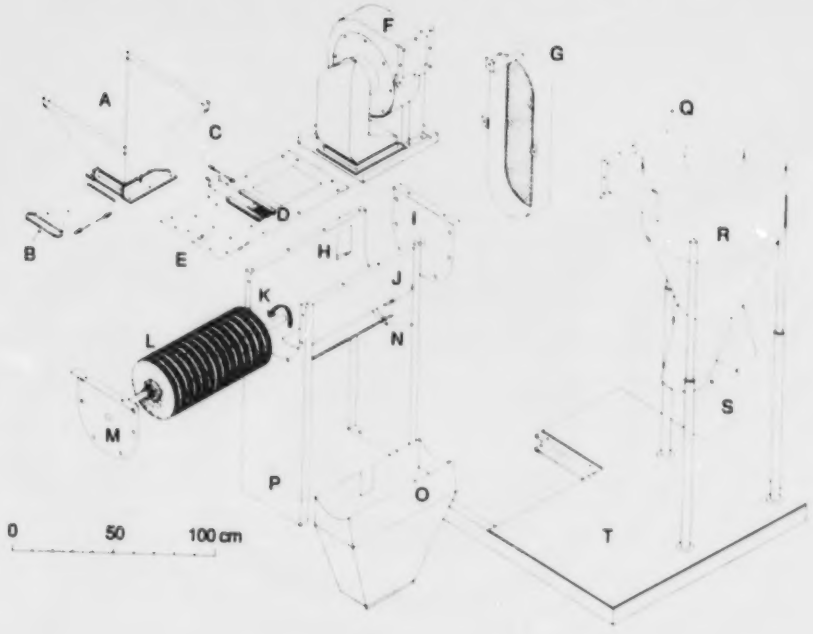

Fig. 7. Écorché du décortiqueur RIIC (communiqué par l'Institut de biotechnologie des plantes, Conseil national de recherches du Canada). A, trémie d'alimentation ; B, contrôle du débit ; C, contrôle du volume d'air ; D, admission d'air ; E, admission du grain ; F, ventilateur ; G, protection du ventilateur ; H, déversoir pour décorticage continu ; I, plaque latérale ; J, auge du décortiqueur ; K, sens de rotation de l'arbre ; L, meules ; M, plaque latérale ; N, trappe pour décorticage par lots ; O, déversoir ; P, pied ; Q, sortie d'air ; R, cyclone ; S, évacuation des matières fines ; T, socle.

Le décortiqueur Nuhull

Un fabricant canadien, Nutana Machine Ltd, a construit récemment le décortiqueur Nuhull. Il s'agit d'un décortiqueur RIIC modifié, des changements ayant été apportés pour réduire le coût et simplifier la fabrication. Les Figures 8 et 9 présentent les caractéristiques générales de cette machine et ses éléments. Dans ce modèle, le ventilateur aspirant le son est monté directement à l'extrémité de l'arbre du décortiqueur et la circulation d'air est contrôlée par un système unique. Des meules de carborundum semblables à celles du décortiqueur RIIC sont employées. Il faut un moteur électrique de 10 cv pour faire fonctionner le décortiqueur à 1 500 à 2 000 tours/minute, en donnant des capacités de 200 à 500 kg de grain par heure en continu. La machine peut décortiquer des lots de 5 à 15 kg.

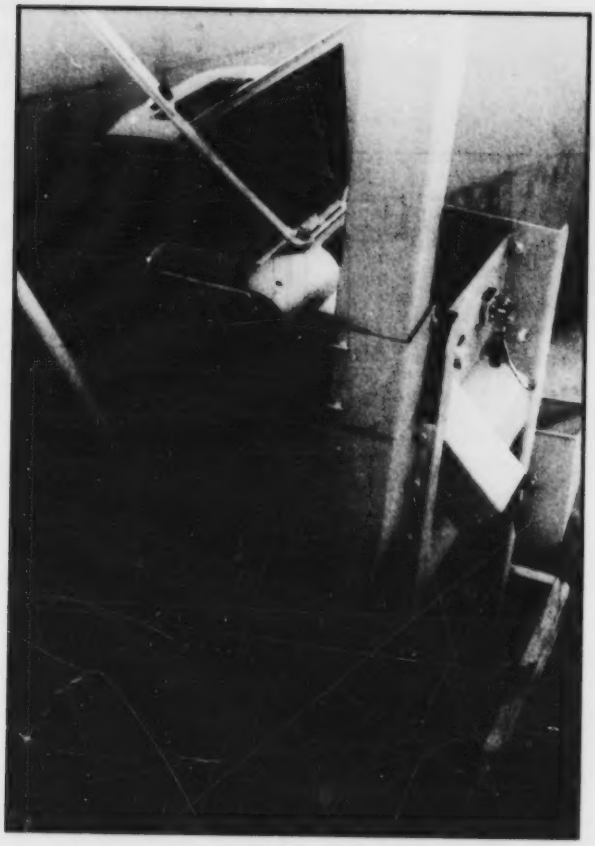

Fig. 8. Vue générale du décortiqueur Nuhull (communiqué par Nutana Machinery, Saskatoon, Canada).

Le décortiqueur Mini-PRL

Le Mini-PRL (appelé précédemment Roll-over, Mini, PRL-Mini ou PRL par lots) est beaucoup plus petit que les décortiqueurs PRL et RIIC. Il est constitué d'une auge de 30 cm de long × 30 cm de large × 32 cm de profondeur et sa forme est analogue à celle des autres décortiqueurs dont nous venons de parler. La Figure 10 donne une vue générale du Mini-PRL, actionné par un moteur électrique.

Les disques abrasifs sont montés sur un arbre de 2,54 cm; des disques de résinoïde de 25,4 cm de diamètre × 0,32 cm d'épaisseur ou des meules de 25,4 cm de diamètre × 2.0 cm d'épaisseur ont été utilisés. Dans le cas des disques de résinoïde, ils sont au nombre de huit, séparés par des espaceurs de 2,5 cm, et les deux disques des extrémités sont inclinés à 8° de la verticale pour faciliter le mélange des grains (voir Fig. 11). Dans certains décortiqueurs

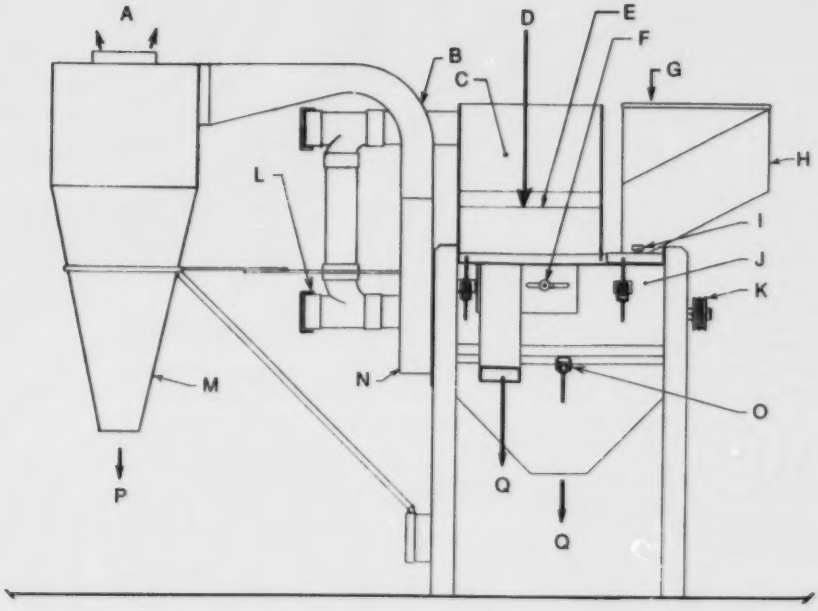

Fig. 9. Éléments du décortiqueur Nuhull (communiqué par Nutana Machinery, Saskatoon, Canada). A, échappement d'air ; B, conduit du cyclone/ventilateur ; C, aspiration d'air ; D, admission d'air ; E, admission d'air dans le corps du décortiqueur ; F, contrôle de sortie du grain ; G, chargement du grain ; H, trémie d'alimentation ; I, commande de réglage d'admission du grain ; J, corps du décortiqueur ; K, poulie d'entraînement ; L, commande de vitesse de l'air ; M, cyclone ; N, ventilateur ; O, commande inférieure de déversement du grain ; P, sortie du son ; Q, sortie du grain décortiqué.

Mini-PRL, les six disques résinoïdes intérieurs sont remplacés par quatre meules de carborundum.

Pour actionner le décortiqueur, il faut un moteur électrique d'environ 3 cv ou un moteur diesel ou à essence de 5 cv. Les décortiqueurs motorisés sont munis d'un embrayage à « verrouillage par bille », qui remplace la poulie d'entraînement, car il faut arrêter les disques périodiquement pour charger et décharger le grain. La Figure 11 montre l'agencement des principaux éléments du Mini-PRL, compatibles avec le moteur à essence diesel. Il est important de noter que le sens de rotation du décortiqueur est tel que le contre-écrou empêchant les disques de glisser sur l'arbre ne se dévisse pas pendant le fonctionnement. Ainsi, pour un écrou vissé vers la droite, le sens de rotation est celui que montre la Figure 11.

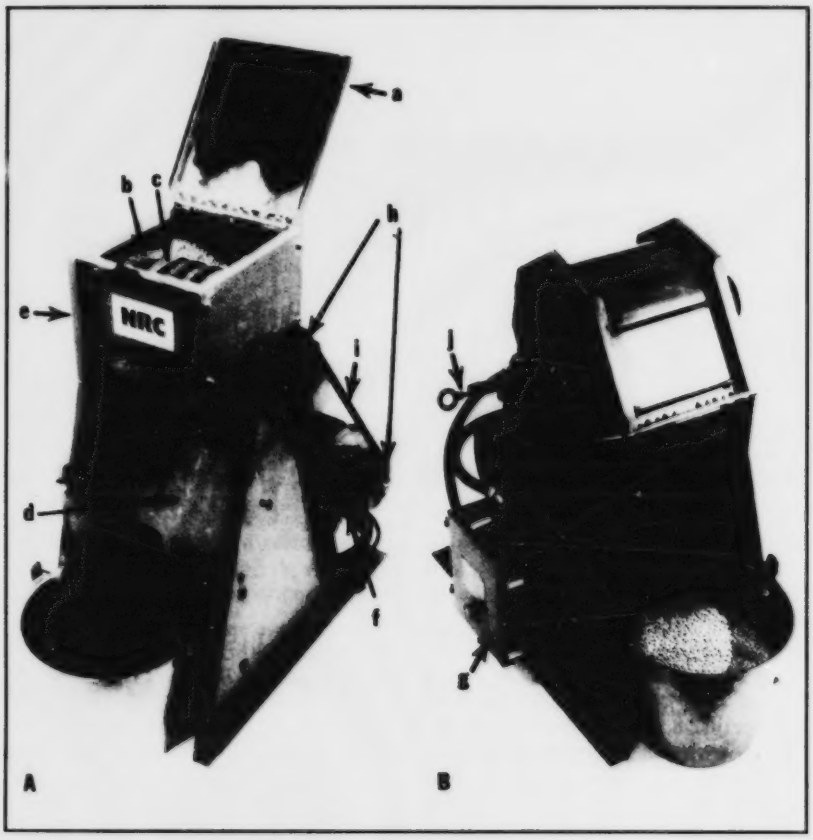

Fig. 10. Le décortiqueur Mini-PRL en positions (A) couvercle levé et (B) déversement (communiqué par l'Institut de biotechnologie des plantes, Saskatoon, Canada). A, couvercle ; B, disque ; C, grain ; D, trémie d'évacuation ; E, auge du décortiqueur ; F, moteur électrique ; G, panneau de commande ; H, poulies ; I, courroie d'entraînement ; J, goupille de dégagement à ressort.

Étant donné que le décortiqueur fonctionne par lots, il faut charger et décharger le grain en cours de fonctionnement. On procède au chargement en ouvrant le couvercle à charnière (Fig. 10A) et en versant le grain. Après le décorticage, on soulève le couvercle et on tire la goupille (Fig. 11) en laissant la machine osciller librement autour de l'axe de son arbre et le grain se déverse dans le déversoir (Fig. 10B). La capacité maximum recommandée est de 7 kg de grain.

En fonctionnement, les disques abrasifs tournent à 1 500 à 2 000 tours/minute, selon le type de grain décortiqué et selon le nombre et le type de disques utilisés. La durée du décorticage pour le sorgho et le mil va de 2 à 5 minutes. Le Tableau 5 donne certaines indications sur les performances du décortiqueur Mini-PRL et sur la gamme de grains qu'il peut traiter.

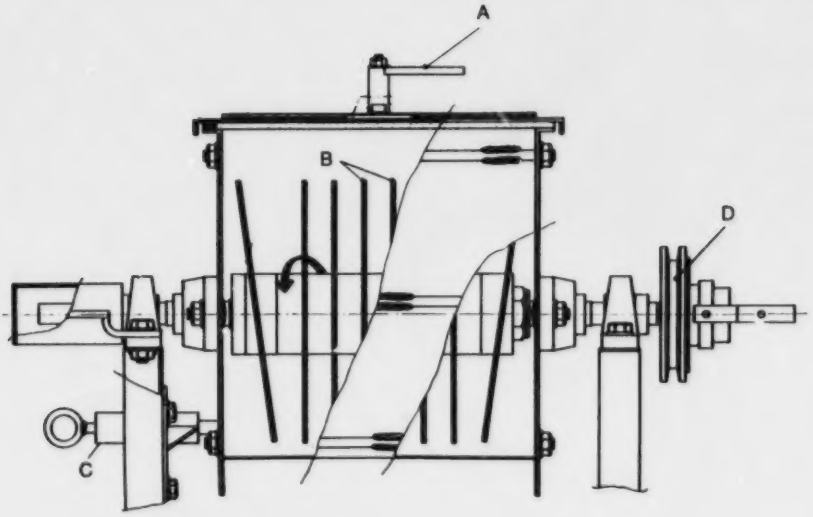

Fig. 11. Coupe verticale du décortiqueur Mini-PRL avec embrayage (communiqué par l'Institut de biotechnologie des plantes, Saskatoon, Canada). A, verrou ; B, disques ; C, goupille de dégagement à ressort ; D, embrayage.

Le décortiqueur Mini-CRS

Sur la base d'une expérience de plus de trois ans d'utilisation continue d'un Mini-PRL dans un village de Gambie, des changements ont été apportés afin d'éviter l'usure de la machine due aux vibrations, de simplifier la fabrication et l'utilisation, de réduire au minimum l'entretien et les réparations et d'encourager la fabrication par des artisans locaux (Nance et Colley 1985).

La Figure 12 présente les principales caractéristiques de cette machine. Le Mini-CRS est fabriqué dans des ateliers mécaniques par des artisans locaux qui utilisent les outils disponibles ; sa fabrication ne dépend pas de tolérances strictes ni de techniques spécialisées. L'auge a les mêmes dimensions que celle du Mini-PRL mais elle est de construction plus robuste pour résister à la fatigue que causent les vibrations. L'ensemble formé de l'arbre et des disques est analogue à celui du Mini-PRL, mais l'écrou de fixation est remplacé par un mécanisme de verrouillage plus pratique (Fig. 13). Les disques des extrémités sont inclinés de 6° pour réduire au minimum le bris en fonctionnement.

Un levier simple, utilisant une goupille de soupape d'un moteur usagé, a été incorporé pour remplacer la goupille à ressort employée sur le Mini-PRL pour le déversement du grain décortiqué. De plus, le mécanisme de fermeture du couvercle du Mini-PRL a été modifié pour assurer une plus grande étanchéité, ce qui réduit l'échappement de poussière pendant le fonctionnement du décortiqueur.

Tableau 5. Performances du décortiqueur Mini-PRL pour le traitement de différentes céréales et légumineuses.

Grain	Temps de décorticage (minutes)	Rendement (%)
Mil	1–3	90–95
Sorgho	2–6	73–89
Riz brun	1–3	84–92
Blé	3–6	77–93
Fève soja	2	90
Féverole	1	83
Lentille	1	85
Haricot rouge	2	84
Haricot mungo	3	74
Niébé à oeil noir	2	80
Niébé brun	3	74

Source: d'après York (1981).

L'embrayage importé « à verrouillage par bille » du Mini-PRL a été remplacé par un embrayage simple, fait de tôle d'acier doux, ne demandant ni méthodes de fabrication compliquées, ni compétences spéciales (Fig. 14).

Le décortiqueur Mini-ENDA

Une des principales caractéristiques du Mini-ENDA est son auge plus longue que celle du Mini-PRL, qui a la même forme que celle des autres machines, mais dont les dimensions (50 cm de long × 30 cm de large × 30 cm de profondeur) lui donnent une capacité d'environ 10 kg (Fig. 15).

Le couvercle supérieur du décortiqueur Mini-ENDA peut être enlevé pour l'entretien. Le grain est chargé dans l'auge par une trémie. Dix meules de carborundum (25 cm de diamètre × 2,5 cm d'épaisseur) sont montées sur un arbre de 3,3 cm et séparées par des espaceurs de 2,5 cm. L'ensemble de disques abrasifs est monté sur des paliers comme le montre la Figure 16. Les paliers ordinaires utilisés dans le Mini-PRL et le Mini-CRS ont été supprimés dans le Mini-ENDA car il n'est pas nécessaire que ce décortiqueur soit en rotation autour de son axe pour être vidé. Au lieu de cela, les grains décortiqués passent par une trappe, sous l'auge, qui est actionnée par un mécanisme à levier, puis s'écoulent dans un déversoir (Fig. 15). Dans des conditions correspondant au fonctionnement dans un village, le Mini-ENDA actionné par un moteur électrique de 3 cv peut décortiquer de 400 à 600 kg par jour à une vitesse de rotation de l'arbre de 1500 à 2000 tours/minute.

Le décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA

En se basant sur la conception et le fonctionnement du décortiqueur Mini-PRL, SISMAR, en collaboration avec le CNRA, a mis au point et construit deux prototypes, les décortiqueurs Mini-SISMAR/ISRA I et II, de même capacité que le Mini-PRL.

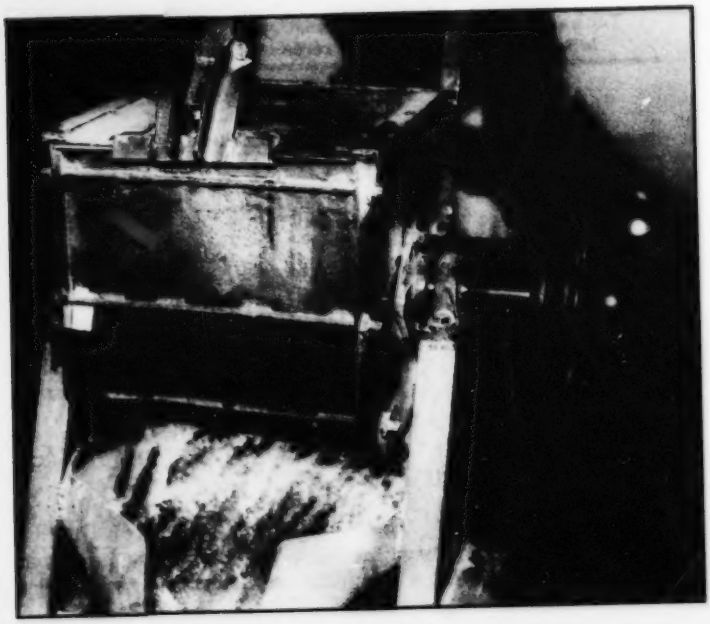

Fig. 12. Vue générale du décortiqueur Mini-CRS.

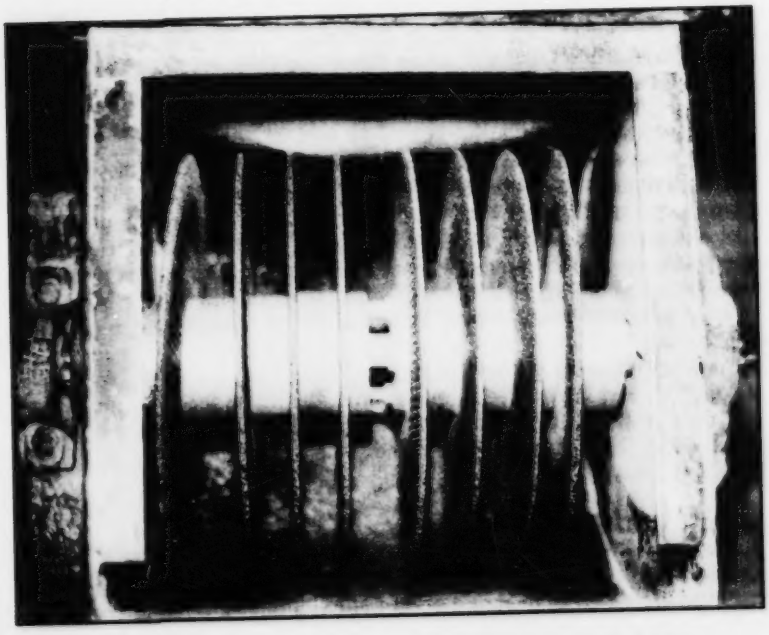

Fig. 13. Méthode de verrouillage des disques dans le Mini-CRS.

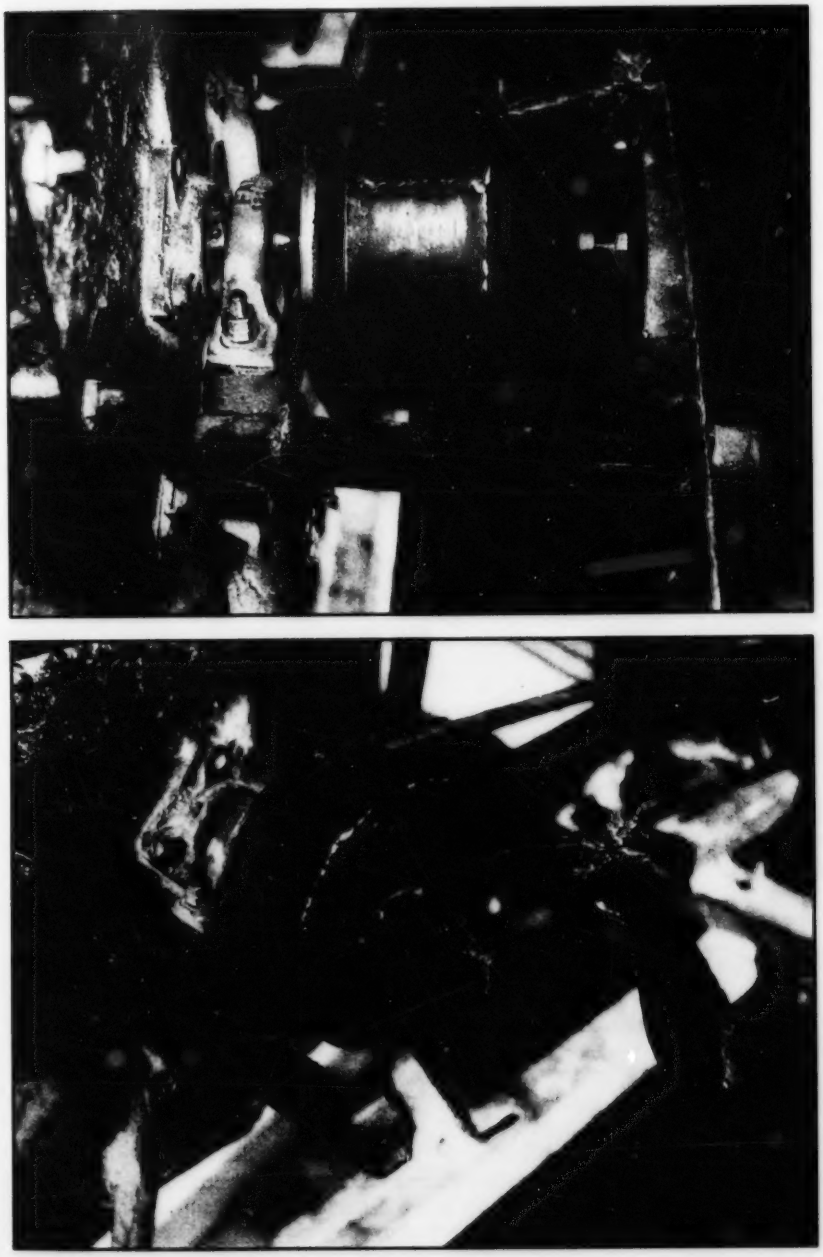

Fig. 14. Mini-CRS avec embrayage de fabrication locale (haut, embrayé ; bas, débrayé).

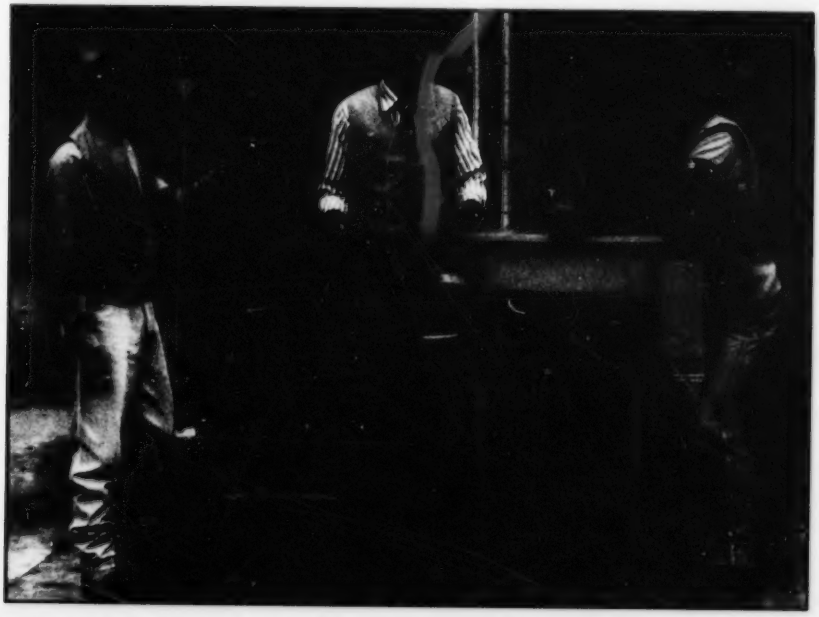

Fig. 15. Caractéristiques générales de deux Mini-ENDA de différentes grandeurs pour le décorticage par lots.

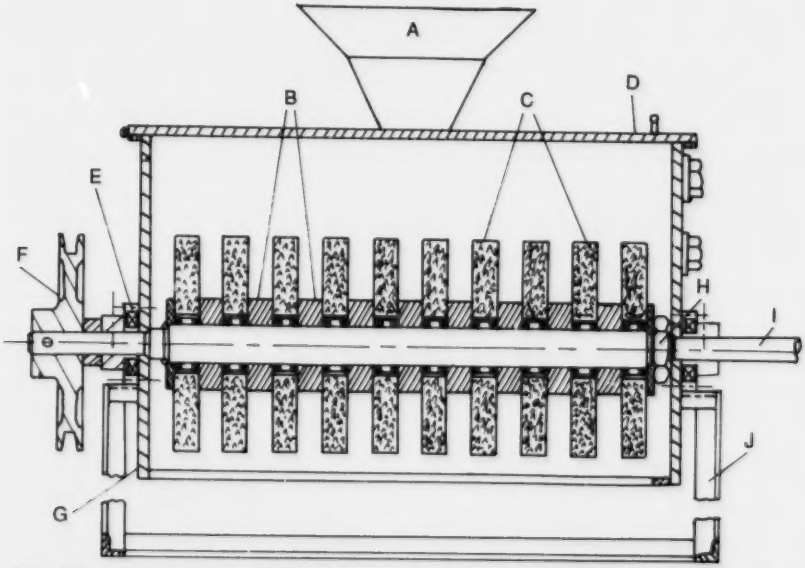

Fig. 16. Coupe verticale longitudinale de l'arbre du Mini-ENDA (communiqué par ENDA-Zimbabwe). A, trémie ; B, espaceur ; C, disques ; D, couvercle ; E, palier ; F, poulie ; G, plaque latérale ; H, écrou de verrouillage ; I, arbre ; J, pied.

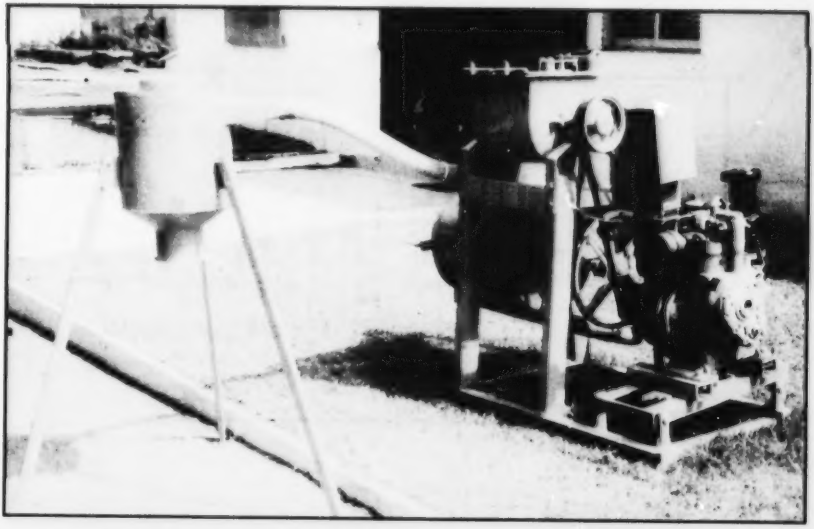

Fig. 17. Caractéristiques générales du décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA I (communiqué par SISMAR, Sénégal).

Le Mini-SISMAR/ISRA I (Fig. 17 et 18) possède une chambre de décorticage analogue à celle du Mini-CRS et il faut le faire basculer pour vider les grains décortiqués. Une des principales différences entre lui et le Mini-CRS ou le Mini-PRL est l'incorporation d'un nettoyeur de grains utilisant un tamis et des brosses rotatives pour séparer le grain du son. Le mélange de grain décortiqué et de son est recueilli dans un réceptacle qui le déverse progressivement dans le tarare, où le son est séparé des grains entiers en passant à travers un tamis par aspiration. Le grain nettoyé est prélevé par une ouverture et le son est ensaché après être passé par un cyclone. Le décorticage et le vannage de lots de grains séparés peuvent avoir lieu simultanément.

Dix disques de résinoïde légers sont utilisés dans ce décortiqueur mais, contrairement à l'agencement du Mini-CRS, les disques des extrémités forment un angle droit avec l'arbre (Fig. 18). L'énergie est fournie par un moteur diesel de 6,5 cv avec embrayage ou un moteur électrique de 3 cv.

Pour satisfaire un besoin donné de décorticage, il faut que le décortiqueur réponde à certains critères de base. Sur la base des résultats d'essais effectués sur le terrain avec le Mini-SISMAR/ISRA I, un deuxième prototype, le Mini-SISMAR/ISRA II, a été mis au point pour tenir compte du besoin, existant chez les villageois, de décorticage économique de lots de moins de 4 kg de grain — quantité qu'ils donnent généralement à décortiquer dans les villages sénégalais (voir le Chapitre 6) et pour en abaisser le coût. Le Mini-SISMAR/ISRA II (voir Fig. 19 et 20) utilise 8 disques de résinoïde au lieu de 10, mais le tarare et le cyclone sont les mêmes que ceux du prototype I (Fig. 19). L'auge est divisée en deux compartiments, (Fig. 20) alimentés en grains par deux trémies de chargement, situées dans la partie supérieure du décortiqueur. Cela permet de

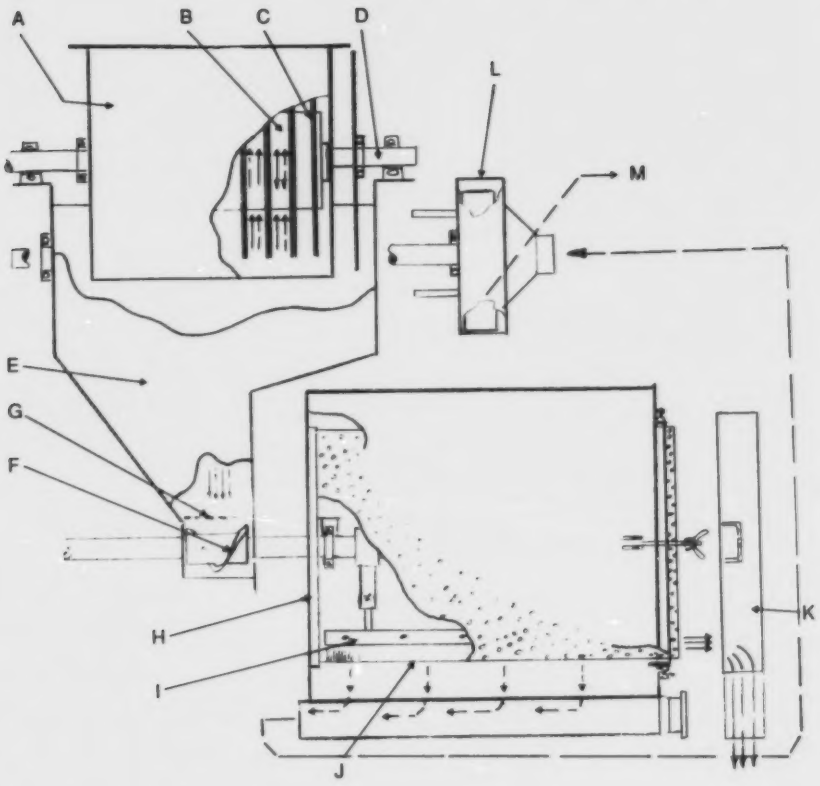

Fig. 18. Schéma du Mini-SISMAR/ISRA I (communiqué par SISMAR, Sénégal). A, décortiqueur ; B, espaceur ; C, disque ; D, arbre ; E, réservoir d'alimentation ; F, alimentation par vis d'Archimède ; G, trémie ; H, séparateur ; I, brosse ; J, tamis ; K, couvercle ; L, ventilateur aspirant ; M, vers le cyclone. Flèches en trait plein, grain décortiqué ; flèches en tireté, son.

décortiquer simultanément deux lots différents d'environ 4 kg, pendant qu'un troisième lot est vanné.

Au lieu que l'auge bascule pour être vidée après le décorticage, la chambre est fixe (ce qui élimine deux séries de paliers) et deux trappes, sous l'auge, permettent de vider le mélange de son et de grain décortiqué dans le déversoir qui alimente le tarare. Le Mini-SISMAR/ISRA II fonctionne avec un moteur diesel de 6,5 cv sans embrayage, car on ne fait plus basculer l'auge pour la vider et il n'est donc pas nécessaire de couper le contact entre le moteur et l'arbre. Grâce à cet agencement, le coût du prototype II et fortement réduit par rapport à celui du prototype I.

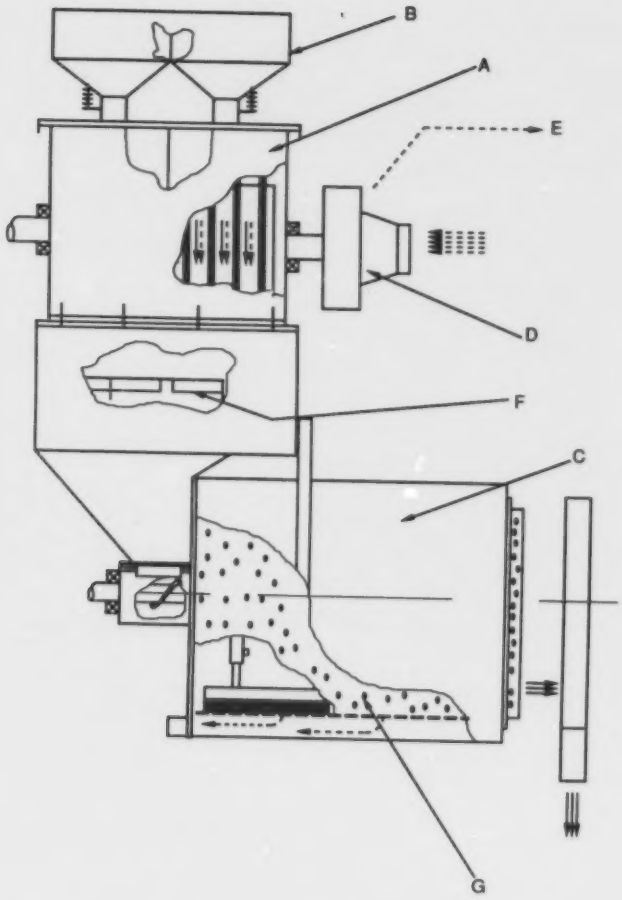

Fig. 19. Schéma montrant les caractéristiques particulières du Mini-SISMAR/ISRA II (communiqué par SISMAR, Sénégal). A, décortiqueur ; B, réservoir d'alimentation ; C, séparateur ; D, ventilateur aspirant ; E, vers le cyclone ; F, deux trappes ; G, tamis. Flèches en trait plein, grain décortiqué ; flèches en tireté, son.

Stades de développement et utilisation des décortiqueurs

Dans cette section nous verrons rapidement dans quelle mesure les différents modèles ont été utilisés et quelles sont les applications futures possibles.

Le décortiqueur PRL n'est plus fabriqué, car il a été remplacé par les machines RIIC et Nuhull, plus polyvalentes. Le décortiqueur RIIC est bien implanté dans le système de traitement du sorgho en Afrique australe, où d'importants volumes de grains sont à décortiquer. Il continuera de trouver une place dans d'autres pays africains, spécialement dans les gros villages ou les

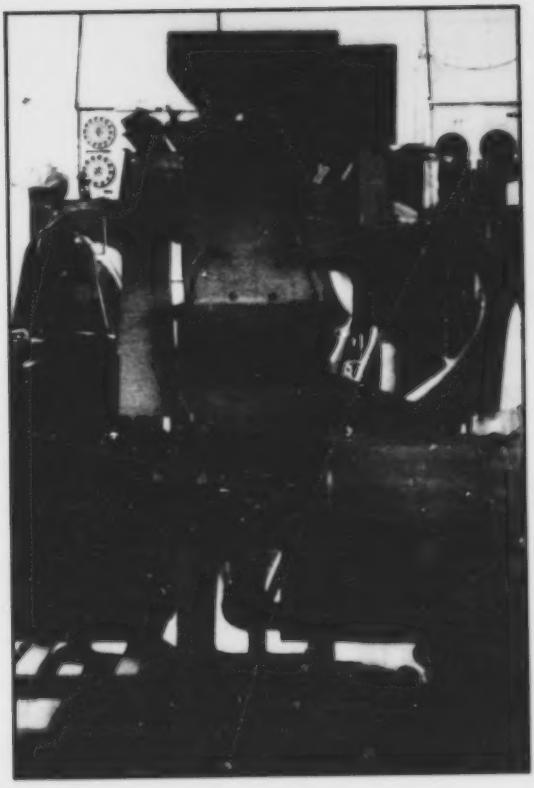

Fig. 20. Caractéristiques générales du décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA II.

villes où existe une minoterie commerciale. Des changements destinés à réduire le coût et à améliorer la performance continueront certainement d'être apportés, comme dans le décortiqueur Nuhull par exemple.

Le Mini-CRS a été développé jusqu'à un stade où il est prêt à être adopté à grande échelle en Gambie. Il est fabriqué par un artisan local pour être utilisé dans le pays et à l'extérieur, et il y en a déjà plusieurs en fonctionnement en Gambie (comme on le verra au Chapitre 6). On s'efforce maintenant de développer une industrie de fabrication et de service autosuffisante, pour répondre aux besoins du marché local. Vu les similitudes qui existent entre de nombreux pays d'Afrique occidentale, ce décortiqueur est maintenant soumis à des essais sur le terrain au Cameroun, au Mali et au Niger en vue d'être fabriqué dans ces pays.

Au Sénégal, la SISMAR a entrepris la fabrication de décortiqueurs Mini-SISMAR/ISRA. Plusieurs Mini-SISMAR/ISRA I font l'objet d'essais sur le terrain (voir le Chapitre 6). Les résultats en ce qui concerne leurs performances

en conditions réelles s'accumulent. SISMAR s'occupe de la promotion du Mini-SISMAR/ISRA II, dont la fabrication et la commercialisation ont commencé. Il est prévu que ce décortiqueur sera vendu au Sénégal et exporté dans d'autres pays où les besoins de décorticage sont analogues.

Des activités sont en cours pour promouvoir l'utilisation du Mini-ENDA au Zimbabwe. Le projet comprend la fabrication et l'utilisation de 40 décortiqueurs, avec un financement de l'ACDI.

Nous pouvons en conclure que ces décortiqueurs ont dépassé le stade du développement et qu'ils sont maintenant fabriqués et utilisés à différents degrés dans plusieurs pays. Les efforts devront être poursuivis pour maintenir des structures viables de fabrication et créer le climat socio-économique nécessaire à leur acquisition et à leur utilisation.

Méthodologie de réalisation de modèles appropriés

L'idéal aurait été de développer un modèle unique de décortiqueur à disques abrasifs utilisable dans tous les pays africains. Cela n'a malheureusement pas été possible, car les contextes différents sur les plans agricole, économique, politique et technologique, les disponibilités en personnel et les normes traditionnelles ont déterminé le choix d'un certain type de décortiqueur. L'approche employée pour développer les différents modèles a été d'acquérir une technologie et de l'adapter à des besoins donnés de décorticage, en tenant compte des différences pouvant exister entre les pays. Ainsi, par exemple, le décortiqueur RIIC, qui est bien adapté aux besoins du Botswana, convient moins bien pour des applications rurales au Sénégal. De même, les quantités de grains que les femmes rurales font décortiquer en Gambie étant relativement plus petites, la machine Mini-ENDA ne donnerait pas des produits décortiqués satisfaisants et son fonctionnement ne serait pas économiquement rentable dans ce pays. Nous verrons dans cette section qu'il importe d'adopter une approche méthodique pour obtenir un modèle de décortiqueur approprié.

Il apparaît immédiatement que tous les développements qui ont mené aux différents décortiqueurs ont pris pour point de départ des concepts existants. Les changements ont été apportés sur la base des quantités de grain à décortiquer, du mode de fonctionnement — par lots ou en continu, des possibilités de fabrication locale, de la disponibilité de matériaux de construction, du prix d'un décortiqueur, de l'expertise locale de conception et des préférences personnelles du concepteur.

Les relations réciproques entre les travaux de laboratoire et les travaux de terrain pour aboutir à l'acceptabilité des décortiqueurs par les usagers sont aussi représentées dans le Tableau 6. La conception des prototypes a généralement impliqué des travaux de laboratoire importants, mais on les a soumis, à un stade précoce de leur développement, aux utilisateurs auxquels ils étaient destinés afin d'obtenir la réaction de ces utilisateurs potentiels en vue de poursuivre le développement. Dans tous les cas, les divers modèles se sont révélés appropriés pour être utilisés dans les pays où ils ont été mis au point.

Tableau 6. Comparaison des activités qui ont entouré la conception des décortiqueurs à disques abrasifs.

Décortiqueur	But	Modèle	Travail effectué	Résultat
PRL	Mettre au point un décortiqueur pour céréales et légumineuses	Batteuse Hill	Modifié la conception de la batteuse Hill et fait des essais pour évaluer les performances Essais effectués en Afrique en laboratoire et sur le terrain Développé les connaissances sur les besoins en matière de décorticage en Afrique	Décortiqueur utilisé dans plusieurs pays Décortiqueur adapté au traitement à grande échelle Développé l'intérêt pour le décorticage mécanisé Le décortiqueur ne convient pas pour certaines utilisations dans les villages, car trop grand et ne fonctionne pas par lots Décortiqueur convenant pour une large gamme de grains
RIIC	Mettre au point un décortiqueur répondant aux besoins de décorticage des villages du Botswana	Décortiqueur PRL	Essais avec le décortiqueur PRL Modifié la conception pour permettre le fonctionnement continu ou par lots Réduit la taille pour répondre aux besoins de décorticage par lots Modifié la conception pour faciliter la construction locale Essai à grande échelle sur du sorgho	Décortiqueur adopté par les utilisateurs Établi une industrie de minoterie Créé un atelier de construction de décortiqueurs, avec exportation dans d'autres pays Amélioration des possibilités de fabrication locale Bonne compréhension du fonctionnement des décortiqueurs
Mini-PRL	Mettre au point un décortiqueur fonctionnant par lots pour de petites quantités de grain	Décortiqueur PRL	Réduit la capacité du décortiqueur PRL Incorporé le décorticage par lots Éliminé l'aspiration du son Essais sur les grains dans les conditions de laboratoire au Canada Essais en laboratoire dans plusieurs pays d'Afrique Essais sur le terrain à grande échelle en Gambie Essais avec différents types de disques abrasifs	Produits décortiqués acceptables pour les villageoises Viabilité du décortiqueur dépendant de la gestion Suscité l'intérêt pour de petits décortiqueurs Essais en laboratoire insuffisants pour adoption dans les villages Taille du décortiqueur convenant à beaucoup de milieux ruraux Modifications nécessaires pour permettre la construction locale et prolonger la vie des machines

Mini-CRS	Mettre au point un décortiqueur répondant aux besoins des villageois de Gambie : peu coûteux, durable, traitement par lots d'environ 5 kg, facilité de fonctionnement	Mini-PRL	Essais du Mini-PRL dans des villages Étroite collaboration avec les utilisateurs Modifé la conception du Mini-PRL Simplifié la conception, modifié des pièces en vue d'une fabrication locale Essais du Mini-CRS pour évaluer l'impact technique et socio-économique	Mini-PRL pas durable pour l'utilisation locale Mini-CRS durable et plus facile à utiliser Établi un atelier de construction locale Élaboration d'une méthode de gestion villageoise Possibilité d'utilisation du décortiqueur dans d'autres pays d'Afrique Réduction du matériel importé, tel que les embrayages Mini-CRS peu coûteux et techniquement viable
Mini-ENDA	Mettre au point un décortiqueur convenant pour les besoins des villages du Zimbabwe : peu coûteux, durable, traitement par lots d'environ 15 kg	Mini-PRL	Étudié les besoins de décorticage Essais du Mini-PRL Déterminé la taille du décortiqueur Conçu et réalisé le Mini-ENDA avec plusieurs changements Essais dans des villages avec forte participation des utilisateurs	Conçu un grand décortiqueur avec trémie et trappe de vidage Réduit le nombre de paliers Plus facile à construire Réduit le nombre de pièces à importer Utilisation plus facile Mise au point d'une méthode d'essais dans les villages Diffusion à grande échelle des décortiqueurs au Zimbabwe sur la base des résultats des essais dans les villages
Mini-SISMAR/ ISRA I et II	Mettre au point des décortiqueurs qui puissent être construits localement et utilisés dans les villages au Sénégal. Lots de moins de 7 kg, fonctionnement économique, avec vannage	Mini-PRL	Étude des besoins de décorticage Mini-PRL en laboratoire. Apporté des modifications à la conception pour incorporer le vannage Essais du Mini-SISMAR/ISRA I dans les villages. Utilisé les résultats des essais sur le terrain pour mettre au point le Mini-SISMAR/ ISRA II Entrepris des activités de commercialisation	Conception des Mini-SISMAR/ISRA I et II Prototype I adapté pour lots de plus de 4 kg Prototype II possède trémie, peut décortiquer simultanément deux lots de moins de 4 kg ; avec trappes de vidage. Coût réduit par rapport au type I Les deux prototypes, I et II, peuvent décortiquer et vanner simultanément différents lots de grains Chaîne de production en voie de réalisation pour la construction du Mini-SISMAR/ISRA II; production à grande échelle prévue pour le Sénégal et d'autres pays d'Afrique Une amélioration de la minoterie au Sénégal est à prévoir

L'expérience acquise à partir des activités présentées dans le Tableau 6 fait penser que l'on peut formuler une approche générale pour la mise au point de modèles appropriés de décortiqueurs. Dans le cadre d'une telle approche, il faut répondre à treize questions fondamentales:

- Est-ce que les femmes perçoivent le décorticage comme un problème? Est-ce un obstacle à l'utilisation de certains aliments et à l'amélioration du niveau de vie?
- Existe-t-il des statistiques fiables de production et d'utilisation qui justifient une activité de décorticage? Y a-t-il suffisamment de grains à décortiquer dans la région où le décortiqueur sera installé pour le rendre économiquement viable?
- Existe-t-il aussi un broyeur?
- Y-a-t-il eu des enquêtes pour évaluer les besoins de traitement de grains des bénéficiaires prévus?
- Quelle est la capacité de paiement des bénéficiaires pour l'achat et l'entretien du décortiqueur?
- Dans quelle mesure le décortiqueur sera-t-il utilisé? Combien d'usagers peut-on envisager et quelles sont leurs habitudes en matière de décorticage?
- Existe-t-il un modèle de décortiqueur utilisable?
- S'il existe un décortiqueur, faut-il modifier sa conception d'après les connaissances que l'on possède sur les conditions locales et les céréales à traiter?
- Quelle est l'expertise que possèdent les groupes de recherche ou de développement pour apporter des changements de conception?
- Est-il possible de trouver un collaborateur possédant l'expérience appropriée?
- Quelles sont les possibilités locales de construire la machine?
- Existe-t-il une infrastructure technique adéquate?
- Le nouveau modèle permettra-t-il de réduire les dépenses d'investissement et de fonctionnement?
- Dans la réalisation du nouveau modèle, pourra-t-on éliminer les méthodes de fabrication compliquées et celles qui exigent un équipement perfectionné?
- Est-ce que toutes les pièces du décortiqueur peuvent être fabriquées localement?

Cinq autres points devront encore être pris en considération dans le cadre de cette approche.

- Il faut que des fabricants locaux participent à toutes les phases de la conception si le concepteur ne possède pas les installations de production appropriées.

- Il faut faire des essais des prototypes de décortiqueurs pendant la phase de conception, à la fois pour optimiser leur performance et pour exposer le concepteur aux problèmes que l'usager rencontrera.
- Il convient de soumettre le prototype à des essais dans les conditions que rencontre l'usager local, afin d'obtenir les réactions de celui-ci et d'apporter les modifications qui peuvent être nécessaires.
- Le prototype devrait être soumis aux essais pendant des périodes assez longues pour permettre d'évaluer sa durabilité, les problèmes d'entretien et l'acceptabilité technique.
- Il convient de porter une attention particulière à la disponibilité de pièces de rechange, à l'expertise technique de l'opérateur, au soutien technique disponible localement pour l'entretien et les réparations, ainsi qu'à la facilité de fonctionnement.

Ces points ne sont pas les seuls, mais ce sont les conditions nécessaires pour obtenir un modèle approprié. Il convient de s'arrêter aux six premières questions avant de s'engager dans la conception de n'importe quel matériel et il est important que le concepteur obtienne des réponses satisfaisantes, en collaborant par exemple avec un socio-économiste. Même si une machine est techniquement parfaite, on ne pourra considérer sa conception comme appropriée si cette machine n'est pas utilisée à cause de son coût élevé, de sa complexité technique ou de l'absence d'acceptabilité sociale. L'expérience montre qu'un effort délibéré pour prendre en considération ces questions et ces points devrait aider à assurer la mise au point de modèles de décortiqueurs qui seront utiles.

CHAPITRE 5
INTERACTIONS GRAIN–MACHINE

L'action du décorticage dans le décortiqueur à disques abrasifs est produite par le contact entre chacun des grains et une surface abrasive en mouvement. Dans la première section de ce chapitre, il sera question des caractéristiques importantes des grains qui déterminent s'ils peuvent être décortiqués. On parlera ensuite du décorticage traditionnel du point de vue des caractéristiques des grains et on donnera quelques définitions importantes mettant en relation les mesures objectives et les jugements subjectifs concernant le décorticage. Dans la section suivante, on passera des caractéristiques des grains à celles des disques abrasifs : les principaux facteurs qui déterminent l'aptitude du disque à décortiquer. On examinera ensuite les interactions entre les grains et les disques et, finalement, la performance du décortiqueur et ses mesures objectives.

CARACTÉRISTIQUES DU GRAIN

Structure du grain

La science de la chimie céréalière a permis d'acquérir une connaissance approfondie de la structure des grains de sorgho et a commencé à explorer celle du mil à chandelles. Si l'on coupe un grain de sorgho ou de mil dans le sens de la longueur (Fig. 21), on peut distinguer trois parties: le péricarpe (enveloppe extérieure), l'endosperme (partie riche en amidon) et le germe (partie huileuse) (Sullins et Rooney 1977; Rooney et Miller 1982; Rooney et Murty 1982).

Le péricarpe — ce que l'on appelle le son en technologie de la minoterie — contient, au mieux, des fibres et très peu ou pas du tout de nutriments et, au pire, des substances antinutritionnelles. Un péricarpe épais a tendance à adhérer peu à l'amande du grain, un péricarpe mince est plus adhérent. Le degré d'adhésion influe sur la facilité du décorticage, traditionnel ou mécanique.

Immédiatement sous le péricarpe, mais cela n'est généralement pas visible en coupe, certains génotypes de sorgho présentent une couche colorée appelée testa ou tégument. La couleur du testa peut aller du marron au pourpre, selon les variétés, et son épaisseur varie également. La coloration est associée à une concentration élevée en polyphénols (appelés aussi substances phénoliques biologiquement actives, tanins, ou substances de type tanin (Hulse 1980)), qui inhibent dans l'organisme la capacité de digérer les protéines du grain. Selon la méthode traditionnelle, on décortique le grain jusqu'à ce que la majeure partie du testa soit enlevée.

L'endosperme est constitué de deux éléments que l'on distingue à l'oeil nu: l'endosperme corné (appelé aussi endosperme dur ou vitreux) et l'endosperme farineux. La proportion respective d'endosperme corné et d'endosperme farineux

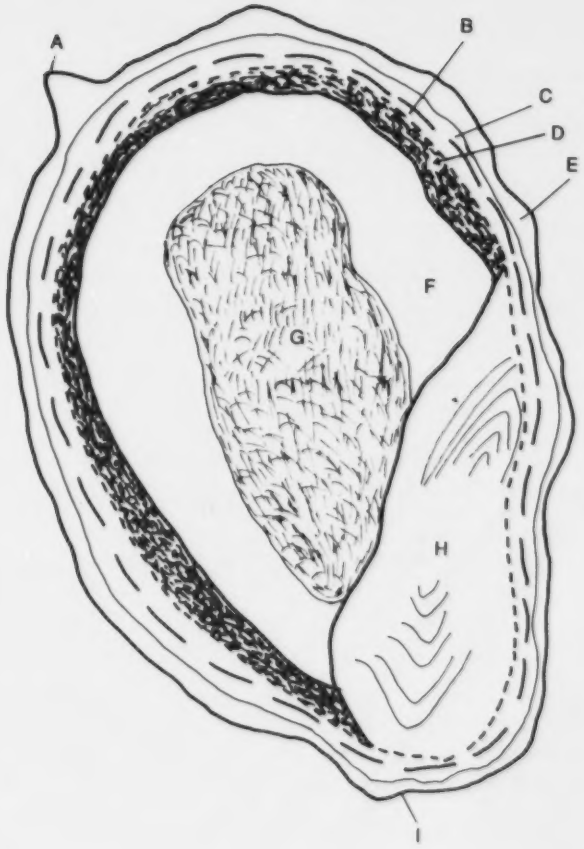

Fig. 21. Coupe d'un grain de sorgho. A, zone du style ; B, couche de cellules d'aleurone ; C, testa (tégument) ; D, couche périphérique ; E, péricarpe ; F, endosperme corné ; G, endosperme farineux ; H, germe ; I, pédicelle.

définit la texture de l'amande et joue un rôle capital pour déterminer la qualité du grain et la qualité des aliments. L'endosperme contient de l'amidon et des protéines. La quantité d'endosperme corné définit dans une grande mesure la résistance du grain au pilage manuel traditionnel ou au broyage ; il résiste à l'écrasement. Plus la partie cornée est importante (ou, inversement, moins la partie farineuse est importante) et moins on trouvera de grains cassés dans le mortier traditionnel à la fin du pilage.

Le germe contient des globules d'huile, des protéines et seulement quelques granules d'amidon. Le germe de certains cultivars est profondément enfoncé dans l'endosperme et difficile à séparer, tandis que dans certains autres il est en saillie et se sépare facilement de l'amande. Du fait de sa teneur en graisse, le germe pulvérisé dans la farine de sorgho limite sa durée de conservation, même

si elle a été produite par des procédés de décorticage et de mouture entièrement à sec. Cependant, une farine qui contient du germe est plus nutritive.

Texture de l'endosperme

Une échelle d'évaluation numérique a été mise au point pour décrire la texture de l'endosperme. Elle repose sur un examen visuel de demi-grains coupés dans le sens de la longueur. L'échelle va de 1 à 5, la cote 1 signifiant que le grain contient très peu d'endosperme farineux (endosperme presque complètement corné), tandis que la cote 5 signifie qu'il est essentiellement farineux (Rooney et Miller 1982) (les écrits de langue française mentionnent une échelle analogue, appelée échelle de Bono, mais celle-ci attribue le numéro 0 à l'endosperme entièrement farineux et le numéro 4 à l'endosperme entièrement corné).

De plus amples recherches seront nécessaires pour déterminer jusqu'à quel point cette mesure de la texture de l'endosperme est corrélable avec certains groupes de produits alimentaires finaux auxquels vont les préférences des consommateurs. La relation entre le décorticage traditionnel et la texture de l'endosperme a été décrite par Kante et al. (1984) pour certains mils et par Scheuring et al. (1983) pour certains sorghos. D'après l'expérience générale, un sorgho ayant un endosperme assez tendre pour se pulvériser dans le mortier sous l'action du pilon pourra être décortiqué avec succès par les décortiqueurs à disques abrasifs.

Décorticage

L'objectif du décorticage est d'enlever entièrement les couches de péricarpe et de testa du grain, avec une perte minimale d'endosperme et de germe, et d'obtenir ce résultat avec un minimum d'énergie et de temps. Étant donné que ces composantes sont présentes en proportions différentes, en poids, dans le sorgho et dans le mil (et dans les différentes variétés de ces céréales) (Tableau 7), le degré de décorticage nécessaire varie d'une variété à l'autre.

La proportion de péricarpe par exemple, varie entre 3 et 11 % du poids d'un grain (Tableau 7), de sorte que la partie « comestible », l'endosperme et le germe, varie entre 97 et 89 %. Un procédé idéal de décorticage n'enlèverait donc, par exemple, que les 6 % du poids que représente le péricarpe dans le premier échantillon de sorgho du Tableau 7.

Dans le décorticage traditionnel au pilon dans un mortier, l'addition d'eau (300 g d'eau par kilogramme de grain) fait gonfler la couche de péricarpe et réduit son adhérence à l'amande. Ensuite, le mouvement du pilon cause une abrasion et détache le péricarpe.

L'épaisseur du péricarpe et ses propriétés d'adhésion déterminent l'effort manuel nécessaire au décorticage. Dans des expériences réalisées en Afrique occidentale sur du sorgho, une femme pilant à une cadence moyenne de 60 coups par minute a décortiqué plusieurs lots de 2 kg de grain (Scheuring et al. 1983). Elle s'arrêtait lorsqu'elle jugeait l'échantillon bien décortiqué (Tableau 8). Le temps de décorticage variait sensiblement selon que le péricarpe était très

Tableau 7. Proportions relatives du péricarpe, de l'endosperme et du germe (en pourcentage du poids du grain) dans certains types de sorgho et de mil.

	Péricarpe (%)	Endosperme (%)	Germe (%)	Rendement théorique (%)
Sorghos à péricarpe épais	6,0	84,0	10,0	94,0
Sorghos à péricarpe fin	3,0–5,0	90,0	5,0–7,0	95,0–97,0
Mil à chandelles, gros	7,0	76,0	17,0	93,0
Mil à chandelles, moyen	7,5	75,0	17,4	92,5
Mil à chandelles, fin	10,6	74,0	15,5	89,4

Source : adapté de Rooney et Miller (1982) et de Faubion et al. (1985).

Tableau 8. Effet de l'épaisseur du péricarpe sur le temps de décorticage manuel de certains cultivars de sorgho.

Type de grain	Poids de 100 grains (g)	Texture de l'endosperme	Épaisseur du péricarpe	Durée moyenne de décorticage (min.)	Récupération de l'endosperme (%)
Nio Fionto	43,8	3	très épais	11,0	66,3
Guineense malien	21,8	2	épais	19,4	71,7
Guineense malien	21,3	2	fin	26,4	68,6
Guineense voltaïque	20,1	2	épais	20,0	–
Guineense voltaïque	20,6	2	fin	29,0	–

Source : Scheuring et al. (1983).

épais, épais ou mince. « À cause des effets fatigants sur la femme » (elle ne pouvait décortiquer que six échantillons par jour), l'expérience a été limitée à 20 lots de 2 kg.

Définitions

Les études traitant du décorticage reflètent un emploi de la terminologie qui est source de confusion et qui est parfois contradictoire. Pour éclaircir les choses, les paragraphes qui suivent définissent certains termes d'emploi courant (voir aussi l'Appendice A) (bien que les données des Tableaux 7 et 8 proviennent de différentes sources, on peut les combiner pour illustrer les définitions).

Le rendement théorique (RT) est la proportion du grain (en pourcentage de son poids) qui représente l'élément comestible ou acceptable. Pour le sorgho et le mil à chandelles, le rendement théorique est égal à 100 moins le pourcentage de péricarpe (Tableau 7, dernière colonne).

Le rendement est la proportion (en pourcentage du poids) de grain décortiqué par rapport au poids initial du grain non décortiqué. Certains auteurs emploient le terme « récupération de l'endosperme » en lui donnant le sens de

« rendement ». Un certain rendement indique simplement la relation entre les quantités de grain décortiqué et de matières fines résultant de l'abrasion ; il n'indique pas, par exemple, si un certain échantillon a été trop ou trop peu décortiqué.

Le taux d'extraction (TE) est le niveau de rendement jugé acceptable pour l'usager. Dans l'exemple du Tableau 8, puisque la femme continuait à piler jusqu'à un niveau de décortication qu'elle trouvait acceptable, la récupération d'endosperme de 66,3 % mentionnée pour les échantillons de Nio Fionto constitue le taux d'extraction, le rendement acceptable.

L'efficacité du décorticage est le rapport entre la proportion de grain à enlever théoriquement et la proportion enlevée réellement, pour réaliser l'enlèvement « total » du péricarpe. Ce concept d'efficacité du décorticage est difficile à comprendre et la meilleure façon de l'expliquer est de donner un exemple concret. Le Tableau 7 présente une plage de rendements théoriques. Si on a une valeur typique du rendement théorique de 90 % (Tableau 7) et si la femme qui pilait a jugé acceptable un taux d'extraction de l'ordre de 30 % (Tableau 8), elle a alors enlevé trois fois plus de matière qu'il n'était théoriquement nécessaire avant d'être convaincue que tout le péricarpe (10 % du poids) était enlevé. L'efficacité du décorticage est dans ce cas calculée comme suit :

$$\text{efficacité du décorticage (\%)} = [(100 - RT)/(100 - TE)]\,100$$
$$= [(100 - 90)/(100 - 70)]\,100$$
$$= 33\,\%$$

où

RT = rendement théorique
TE = taux d'extraction.

Ce ratio est utile en tant que mesure objective de la décorticabilité des différentes céréales et légumineuses alimentaires. Il permet de comparer les grains et les techniques. Par exemple, il est rendu compte dans Reichert et al. (1984b) de l'efficacité de décorticage du Mini-PRL sur diverses légumineuses à grains.

Mesure pratique du taux d'extraction

Dans le décorticage traditionnel, le taux d'extraction est déterminé par une évaluation subjective du point final de décorticage. Les femmes qui décortiquent à la main quotidiennement sont habituées aux propriétés d'une gamme limitée de variétés locales de céréales ou de légumineuses alimentaires. Ces femmes ont acquis l'expérience nécessaire pour juger à vue d'oeil et au contact jusqu'à quel point elle doivent décortiquer manuellement pour que le produit final cuit soit acceptable pour elles-mêmes et leur famille. Tout en étant subjective, cette mesure donne des valeurs du taux d'extraction très constantes et reproductibles.

Existe-t-il des variables objectives et mesurables qui puissent reproduire le jugement de la femme ? Jusqu'à quel point ces mesures objectives sont-elles transférables, par exemple, du Burkina Faso au Malawi ?

Les scientifiques ont essayé plusieurs mesures objectives, notamment la couleur de la farine, la teneur en fibres et la teneur en polyphénols. La farine de

sorgho foncée, qu'elle contienne du tanin ou non, s'éclaircit à mesure que l'on enlève plus de substance. Cependant, vu les interactions complexes entre les préférences des consommateurs pour certains produits alimentaires finaux, les variations entre variétés, les différences dans les conditions agroclimatiques locales et la gamme de paramètres de qualité des grains des différentes variétés, on n'a pas mis au point jusqu'à présent des mesures objectives universellement applicables.

Cependant, une expérimentation pratique est possible dans chaque localité. La ménagère, lorsqu'on lui présente des échantillons d'une même variété (celle qui lui est familière), décortiqués à différents niveaux de rendement, choisira constamment l'échantillon qui ressemble de près à ce qu'elle aurait enlevé en utilisant le pilon et le mortier. La mesure de l'efficacité d'un décortiqueur mécanique se réduit alors à cette comparaison: combien de substance le décortiqueur doit-il enlever pour être acceptable par le consommateur? On pourra alors régler exactement la performance du décortiqueur mécanique pour qu'il ne cause pas plus de « gaspillage » que le décorticage manuel. En l'absence d'une méthode adéquate et définitive de détermination du point final de décorticage, il est conseillé au propriétaire d'un décortiqueur mécanique de demander l'avis d'une femme du lieu. Son jugement est « l'instrument » le plus fiable qui existe pour le moment.

Disques abrasifs

Ayant considéré les caractéristiques qui déterminent dans quelle mesure le grain se prête à un décorticage efficace, voyons maintenant l'élément abrasif qui est l'agent actif du décortiqueur mécanique. Les facteurs qui déterminent la capacité de décorticage du disque abrasif sont la superficie, la vitesse et la composition (type de matériau abrasif utilisé). Les deux premiers facteurs, superficie et vitesse, sont plus faciles à décrire que la composition.

Lorsque la surface abrasive disponible augmente, il est évident que la quantité d'abrasion augmentera aussi. C'est pourquoi le rotor du décortiqueur mécanique est garni de nombreux disques ou de plusieurs meules, que séparent des espaceurs, afin de présenter une grande superficie totale.

La vitesse relative entre la surface du disque et le grain (relativement stationnaire) influence aussi le taux d'abrasion du grain. En accroissant la vitesse de rotation, on accroît la vitesse de la surface du disque. Les résultats de travaux avec le dispositif de décorticage abrasif tangentiel (TADD) indiquent qu'il existe une relation linéaire entre la vitesse de rotation du disque et le taux d'abrasion du sorgho et du blé (Reichert et al. 1986). Par ailleurs, la partie du disque la plus éloignée du centre est celle qui tourne à la plus grande vitesse et qui joue donc le plus grand rôle dans le décorticage.

Composition du disque abrasif

Nous avons vu dans les chapitres précédents que deux types différents de disques abrasifs ont été utilisés dans les décortiqueurs: les meules et les disques de résinoïde (employés dans l'industrie métallurgique pour rectifier et découper

le métal). On parle couramment de disques abrasifs à cause de la forme circulaire des meules et des disques. Généralement, les disques de résinoïde ont une action douce et sélective qui assure des vitesses relativement lentes d'enlèvement de matière du grain, tandis que l'on peut choisir des meules pour toute la gamme de vitesses d'enlèvement, de très lente à très rapide.

Une meule (et un disque de résinoïde) convenant à l'enlèvement par abrasion contient un grand nombre de morceaux pointus d'un matériau dur, les granules d'abrasif, retenus ensemble par un agglomérant. Lorsqu'un granule abrasif en mouvement (faisant saillie dans l'agglomérant) entre en contact avec le grain stationnaire, beaucoup plus tendre, il « mord » sur le grain. Une longue protrusion fera une morsure « profonde ». La taille du granule d'abrasif influe donc sur l'efficacité de décorticage ; une « morsure » profonde peut enlever des portions de péricarpe et d'endosperme, tandis qu'une « morsure » peu profonde enlèvera seulement une partie du péricarpe. L'interaction entre différents types d'abrasifs et une gamme de variétés de sorgho a été étudiée en laboratoire, en termes de vitesse et de qualité d'abrasion du grain (Reichert et al. 1982, Reichert et al. 1984a, Reichert et al. 1986 ; Mwasaru et al. 1988).

Les disques abrasifs s'usent aussi, bien que beaucoup plus lentement que les grains, et il faut les remplacer périodiquement. Les résultats mesurés sur le premier prototype RIIC (RIIC 1980a) ont révélé une réduction de poids moyenne de 27 % sur les meules abrasives après le passage de 500 tonnes de sorgho dans la machine. Les meules s'amincissaient avec l'usure, en particulier à la périphérie.

L'usure s'explique par deux mécanismes. En premier lieu l'attrition, qui émousse les pointes coupantes des granules d'abrasif, et en second lieu l'usure par fracture, qui entraîne une fracturation des granules ou qui arrache l'agglomérant, du fait des tensions qui s'exercent sur les pointes coupantes. L'usure par fracture entraîne la formation de nouvelles pointes coupantes ou l'exposition de nouveaux granules, un peu plus profondément dans la meule. Pour maintenir le pouvoir abrasif de la meule, il faut que les fractures, d'une nature caractéristique d'un certain matériau abrasif, produisent une arête vive ou une pointe. Une cassure arrondie donnerait une surface émoussée, dont la capacité d'abrasion serait réduite.

Ainsi, le type de matériau abrasif choisi est important et les principes de base ci-après s'appliqueront. La composition de ces meules auto-affûtées sera choisie en relation avec la dureté du matériau à moudre — dans le cas présent, le grain. La bonne composition est réalisée lorsque le matériau abrasif — chacun des granules — est extrait de l'agglomérant au moment où il devient suffisamment émoussé pour mériter d'être remplacé.

La science de la composition et de la fabrication des meules est complexe. Brièvement, cependant, les principaux descripteurs de la composition des disques abrasifs sont les suivants : type d'abrasif (carbure de silice ou carborundum, i.e. oxyde d'aluminium), grosseur du granule d'abrasif, grade (proportion d'agglomérant), structure (espacement des granules) et agglomérant. Une spécification type d'un fabricant est, par exemple : A 36 L 5 VBE (Norton Company 1975) (on trouvera plus de précisions sur la composition des meules dans l'Appendice B).

Dans des applications consistant par exemple à rectifier des pièces métalliques, seule la périphérie de la meule est utilisée. Pour le décorticage des céréales, par contre, la périphérie et la face de la meule sont utiles, car la meule est immergée dans le grain. Il faut donc donner au fabricant des instructions pour le finissage de la surface des meules et l'enlèvement de l'excédent d'agglomérant.

Lorsque l'on utilise des meules pour décortiquer le grain, les caractéristiques les plus importantes semblent être le finissage de la surface, la grosseur du granule et le grade. La structure, la modification de l'agglomérant et le type d'abrasif semblent avoir moins d'importance (Mwasaru et al. 1988).

Interactions grains–disques

On a fait beaucoup de recherches au Canada, à l'IBP du CNRC, en liaison avec l'Université de Saskatchewan, sur les interactions entre différentes meules et différents grains de sorgho et de mil (Mwasaru et al. 1988).

Dans une de ces expériences, on a déterminé l'effet de la grosseur des granules d'abrasif sur le taux d'extraction, pour du sorgho à forte teneur en tanin (Tableau 9). Dans ce cas, on a pris comme taux d'extraction le rendement de grain décortiqué lorsqu'il restait dans l'amande une teneur en tanin de 0,5 %. On peut tirer deux conclusions de ces données:

- plus le grain abrasif est fin et moins il faut enlever de substance pour atteindre le critère de rendement acceptable; autrement dit, plus grande est l'efficacité du décorticage;
- l'efficacité du décorticage est plus grande pour les sorghos durs (très vitreux) que pour les sorghos tendres.

La conclusion pratique qu'un minotier peut tirer de cet exemple est que de relativement petits changements de la grosseur des granules peuvent avoir un effet important sur les opérations, en termes d'acceptabilité du produit décortiqué pour le client et de coût pour ce dernier.

D'après des expériences faites en Tanzanie en milieu rural sur des lots de 3 à 4 tonnes, on peut décortiquer convenablement la variété *Serena* à endosperme tendre, contenant du tanin, avec des meules de calibre 60 à une vitesse de 2000 à 4000 tours/minute. Un rendement de 85 % a semblé acceptable au

Tableau 9. Effet de la grosseur des granules abrasifs sur le taux d'extraction (%) de sorghos à teneur élevée en tanin.

Grosseur des granules abrasifs (maille du tamis)	Sorgho tendre	Sorgho dur
24 (grosse)	41,5	72,0
36	45,0	83,0
46 (fine)	62,5	89,5

Source: adapté de Mwasaru et al. (1988).

consommateur, et il a été signalé que la plupart des amandes décortiquées étaient intactes en quittant le décortiqueur. Cependant, il est souhaitable de répéter cette expérience d'une façon plus méticuleuse. Un grain abrasif plus fin (c'est à dire un numéro de calibre plus élevé) pourra être nécessaire si le décortiqueur doit traiter surtout la variété *Serena*.

Par contre, l'expérience menée en Éthiopie en milieu rural a indiqué la nécessité d'un granule d'abrasif plus gros. Les meules de calibre 60 fonctionnaient bien sur le sorgho et le maïs local qui étaient présentés. Cependant, les femmes amenaient aussi de l'orge à décortiquer, car il est encore plus difficile de piler à la main cette céréale dure et cela prend encore plus de temps. Les meules de calibre 60 n'étaient efficaces sur l'orge que si chaque lot était traité deux fois. Cependant, en remplaçant ces meules par une combinaison de calibres 54 et 46, on obtenait un décorticage acceptable en un seul traitement.

Performance du décortiqueur

Dans les sections qui précèdent, nous avons vu les interactions grain-machine au niveau de chaque grain. Dans cette section, nous verrons ces interactions au niveau du lot, et nous nous éloignerons de la question de l'efficacité du matériau abrasif pour examiner l'efficacité du décortiqueur ou sa performance.

Mesures quantitatives de la performance

Trois mesures de performance quantitatives sont couramment employées: capacité (en kg/heure), production (en kg/heure) et rendement (en pourcentage). La capacité se rapporte au matériau entier, non décortiqué et la production se rapporte aux amandes entières décortiquées. Ainsi, on peut indiquer qu'un décortiqueur RIIC a une capacité de 660 kg/heure et une production de 450 kg/heure. On peut en déduire que l'on a produit 150 kg de matières fines résultant de l'abrasion et que le rendement est de 80 %, soit [(production/capacité) × 100].

Lorsque l'on compare différents modèles de décortiqueurs, il est important d'indiquer deux des trois mesures (capacité, production ou rendement); une seule mesure ne fournit pas une information suffisante. Si l'on dit « ce décortiqueur a une capacité de 600 kg/heure à un rendement de 80 % », cet énoncé fournit l'information utile.

Des faits complémentaires importants devront être indiqués: combien faut-il d'énergie (kilowatts-heures ou litres de carburant diesel) pour obtenir un certain taux de performance? et quel est le nombre d'heures de travail du personnel de la minoterie que cela représente?

Il est important aussi d'examiner soigneusement la partie décortiquée et d'indiquer le pourcentage d'amandes brisées. Plus la proportion d'amandes brisées est élevée et moins l'efficacité du décorticage est satisfaisante, étant donné que la substance de l'endosperme est exposée à la surface abrasive, ce qui entraîne une piètre récupération de la partie alimentaire du grain. Il faut donc réduire au minimum la proportion d'amandes brisées en choisissant une grosseur optimale des granules d'abrasifs et en optimisant la vitesse de rotation de l'arbre.

Tableau 10. Performances typiques du décortiqueur RIIC sur des céréales du Botswana.

	Production (kg/h)	Taux d'extraction (%)
Sorghos blancs	500	85–90
Sorghos rouges	400	80–85
Sorghos à teneur élevée en tanin	225	75–80
Maïs	500	85

Source: RIIC (1980b).

Taux de performance typiques

Les petits décortiqueurs — Mini-PRL, Mini-CRS, Mini-ENDA et Mini-SISMAR/ISRA — ont une capacité de l'ordre de 200 à 600 kg/journée de 8 heures à un taux d'extraction de 80%. À l'extrémité inférieure de l'échelle, il faut vider le Mini-PRL et le Mini-CRS en les faisant basculer après chaque lot. Le Mini-ENDA peut être vidé plus rapidement par la trappe. Le Mini-SISMAR/ISRA et le RIIC peuvent fonctionner en continu ou par lots. Un écoulement lent assure des taux d'enlèvement plus élevés (rendements plus bas) tandis qu'un écoulement rapide assure des taux d'enlèvement moins élevés (rendements plus élevés). Dans son manuel de l'usager (RIIC 1980b), le RIIC donne certaines directives prudentes sur les performances à attendre avec les types de grains que l'on trouve communément au Botswana (Tableau 10). Les variétés blanches avaient une proportion élevée d'endosperme corné, les variétés rouges avaient une plus faible vitrosité et les sorghos classés comme étant «à forte teneur en tanin» étaient probablement (d'après les normes internationales) des variétés à faible teneur en tanin, d'une vitrosité moyenne.

L'uniformité du décorticage, par les moyens mécaniques ou les moyens traditionnels, est une autre mesure visuelle et qualitative de la performance. Elle indique le degré de variabilité du décorticage des amandes prises individuellement. Avec certains sorghos de couleur, des enquêteurs ont signalé du mécontentement à propos d'un décorticage non-uniforme réalisé par le Mini-PRL. On peut, semble-t-il, résoudre ce problème en plaçant les disques extérieurs aussi près que possible des plaques latérales.

Sommaire

L'opérateur du décortiqueur à disques abrasifs peut contrôler plusieurs variables afin d'optimiser les interactions entre le décortiqueur et les grains. Certaines variables sont théoriquement réglables, mais il faut du temps pour les modifier, face aux pressions du consommateur pour obtenir des résultats. En les classant de la plus flexible à la moins flexible, ce sont:

- La durée du décorticage, qui est entièrement sous le contrôle de l'opérateur. Elle influence le taux de rendement réalisé et la capacité, et donc les revenus de la minoterie.

- Le taux d'aspiration, que l'on peut modifier assez rapidement pour assurer l'enlèvement de la plupart des matières fines enlevées par abrasion, dans le cas du décortiqueur RIIC ou du type Mini-SISMAR/ISRA. Avec les variantes « mini » sans aspiration, une accumulation de matières fines enlevées par abrasion dans un lot peut entraîner une baisse d'efficacité du décorticage, nécessitant un second passage. Il faut intégrer dans le cycle de travail une étape séparée de vannage, manuel ou mécanique.
- La vitesse des disques abrasifs, qui peut être contrôlée. Si le décortiqueur est actionné par un moteur à essence ou diesel, il suffit d'un simple réglage du débit de carburant; par contre, s'il est actionné par un moteur électrique, il faut au moins 30 minutes pour changer la poulie sur l'arbre du décortiqueur. Au lieu de cela, les opérateurs de minoterie ont tendance à maintenir une vitesse « optimale », qui convient pour la plupart des grains qui leur sont apportés.
- Le type de disques abrasifs, qui peut être modifié, bien que le remplacement d'une série de disques puisse prendre une journée, l'opérateur devant payer l'achat de chaque série de disques de composition différente (l'équivalent de 45 à 250 USD selon le type et le nombre de disques, les droits d'importation et la disponibilité). En pratique, quelques expériences préliminaires devraient conduire à une seule composition optimale pour la gamme de grains qui sont amenés à une certaine minoterie.

CHAPITRE 6
PETITES MINOTERIES

En pratique, les décortiqueurs à disques abrasifs peuvent, s'ils sont localisés efficacement, répondre aux besoins de populations tant urbaines que rurales. Comme nous l'avons dit au Chapitre 3, un grand nombre de ces machines a déjà été installé dans divers pays d'Afrique. À l'exception des minoteries du Botswana, où l'on a acquis de façon continue de l'expérience en exploitation avec le décortiqueur RIIC, ce qui a fait l'objet d'une bonne documentation au cours de plusieurs années, il n'y a pas encore de documentation approfondie sur les minoteries à mini-décortiqueurs, et cela principalement parce que c'est seulement maintenant que l'on acquiert de l'expérience pratique de leur utilisation. Néanmoins, les installations qui sont actuellement en fonctionnement dans différents pays fournissent des connaissances utiles, que l'on pourra utiliser pour élaborer des lignes directrices sur l'installation, le fonctionnement, l'entretien et l'évaluation de la performance générale de ces minoteries.

Le présent chapitre traite des petites minoteries que l'on peut installer avec un décortiqueur comme élément principal. Ces minoteries sont caractérisées par l'emploi d'un ensemble décortiqueur-broyeur pour traiter de petites quantités de grains que les clients amènent individuellement (minoteries publiques fournissant un service), ou traiter certaines quantités qui seront emballées et vendues aux clients (minoteries commerciales). Cependant, comme les clients ruraux préfèrent amener leur propre grain pour le faire traiter, l'accent est mis sur les minoteries publiques. En nous basant sur l'expérience acquise dans les petites minoteries existantes qui travaillent par lots, nous chercherons à mettre en évidence les conditions importantes à observer pour installer, faire fonctionner, gérer et évaluer ces minoteries, dans les villages ou les zones urbaines. Ce chapitre n'est pas conçu comme un « manuel » sur les petites minoteries rurales ni comme une compilation d'études de cas, mais il sera utile aux personnes qui s'intéressent à établir de telles minoteries dans différents pays d'Afrique. Une documentation sur l'expérience générale du fonctionnement de petites minoteries utilisant les décortiqueurs à disques abrasifs sera élaborée dans un proche avenir, lorsque l'on aura recueilli des renseignements suffisants dans les différents pays.

PLANIFICATION DES PETITES MINOTERIES

Les petites minoteries peuvent utiliser des décortiqueurs RICC, Nuhull ou Mini, d'une capacité pouvant atteindre 15 kg, selon la machine, en mode de fonctionnement par lots. On considérera donc avant tout la taille de la machine convenant le mieux pour une localité donnée, ce dont dépendra la viabilité économique de l'installation. Eastman (1980) a exposé les étapes à suivre pour planifier et mettre en oeuvre une minoterie de type industriel fonctionnant en continu. Quelques-unes de ses idées seront utilisées ici pour définir la succession d'étapes à envisager avant l'installation d'une petite minoterie rurale.

Identification des zones de production des grains

Une des premières choses à prendre en considération, dans la planification

d'une minoterie, est qu'il est évidemment nécessaire de déterminer: les types de grains à décortiquer et leur rôle dans le régime alimentaire de la population; les quantités produites et la production type par agriculteur; les quantités produites par rapport aux quantités consommées. Il faudra aussi des données qui permettront d'évaluer la production future et le nombre d'usagers potentiels dans la région.

Détermination de la consommation de grain

On déterminera les quantités de grain consommées par personne en procédant à des enquêtes sur un échantillon de population. On étudiera en outre les principales méthodes de traitement du grain et de préparation des aliments, en tenant compte des préférences de goût. Il ne serait pas sage, par exemple, d'installer une minoterie si traditionnellement les grains ne sont pas décortiqués ou si, d'une manière générale, les consommateurs ne sont pas enthousiastes pour le décorticage à sec et le broyage. De plus, on évaluera la quantité de grain consommée chaque jour, ce qui déterminera la taille moyenne des lots, directement liée à l'énergie nécessaire au traitement et le coût du décorticage. Il serait utile aussi d'obtenir des renseignements sur les quantités de grain consommées à l'occasion de certaines fêtes, afin d'estimer les besoins de décorticage en périodes de pointe; les usagers ne seraient pas satisfaits si la minoterie ne pouvait pas traiter leur grain pendant ces périodes de pointe.

Choix du territoire de la minoterie

Le territoire de la minoterie est la zone qu'elle desservira. Son étendue dépendra de la capacité du décortiqueur et du broyeur installés, le principal critère étant d'avoir une minoterie d'une capacité suffisante pour que son exploitation soit économique. Pour évaluer la viabilité économique de l'installation, il faut déterminer, avant d'installer la minoterie, la quantité approximative de grain qu'il faudra traiter quotidiennement et le coût du traitement par kilogramme. Ces données, avec une estimation de la consommation journalière par personne, donneront le nombre de personnes dont la clientèle serait nécessaire pour assurer une certaine marge bénéficiaire. Une estimation de la taille du village ou du groupe de villages que la minoterie pourra desservir devrait être réalisable sur la base d'études simples. Il est préférable qu'une minoterie ait une clientèle trop nombreuse plutôt qu'une clientèle insuffisante.

Il faut aussi prendre en considération la proximité des différentes minoteries entre elles, car elle pourrait avoir une influence négative sur la viabilité économique de l'une d'elles. Ce cas peut se produire si l'une des minoteries, pour quelque raison que ce soit, applique un prix de traitement plus élevé. Les femmes vivant à proximité de cette minoterie pourraient décider d'en utiliser une autre, même à une assez grande distance. Elles pourraient recourir à un moyen de transport local pour emporter leur grain à une minoterie où le traitement est moins coûteux et faire d'autres courses à l'occasion du voyage, pour justifier les frais de transport. Des minoteries appliquant des prix différents pour le traitement devraient donc être assez éloignées l'une de l'autre.

Déterminer si les usagers sont disposés à utiliser une minoterie

Il faudrait une enquête pour déterminer les réactions des femmes à l'établissement d'une minoterie. Il convient de recueillir des renseignements sur les

disponibilités monétaires pour payer le décorticage mécanique. Les résultats de cette enquête (utilisant des questionnaires simples et un petit échantillon représentatif de la population) indiqueraient si les ménagères sont disposées à être clientes de la minoterie et si elles sont en mesure de payer.

Comparaison des produits obtenus par la méthode traditionnelle et des produits d'une minoterie

La comparaison entre la qualité des produits de la minoterie et celle des produits obtenus par les méthodes traditionnelles déterminera si la minoterie aura de la clientèle ou non: pour faire une comparaison valable, il faudrait qu'une certaine variété de grain soit décortiquée par la méthode traditionnelle à la satisfaction des usagers et que ce degré de décorticage soit reproduit par le décortiqueur. Plusieurs femmes, sur le territoire de la minoterie, seraient invitées à donner leur avis sur ces échantillons décortiqués. Avant d'installer une minoterie, il faut savoir que les utilisateurs acceptent le produit décortiqué à la machine.

Choix du site de la minoterie

L'emplacement du site de la minoterie dépendra de plusieurs facteurs:

- Ce site devrait être accessible à tous les utilisateurs potentiels vivant sur le territoire de la minoterie.
- Si la minoterie est la propriété d'une communauté, il est préférable de l'installer sur un terrain communal que sur un terrain appartenant à un propriétaire privé.
- La minoterie devrait être implantée dans un village où existe un fort leadership et où la population est progressiste et ouverte au changement.
- Il convient de choisir le site de telle façon que son relief n'augmente pas les frais de construction. Il faut aussi que la superficie du terrain soit assez grande pour que la minoterie dispose de suffisamment de place.
- Pour réduire les effets du bruit et de la pollution par les échappements du moteur, la minoterie devrait être installée loin des habitations.

Financement de l'établissement d'une minoterie

Les fonds nécessaires pour faire face aux dépenses d'investissement (construction du bâtiment, achats d'équipement, installation et mise en marche) pourront être obtenus de différentes sources: apports de la communauté, appui gouvernemental, prêts bancaires et organismes de développement. Vu le manque de liquidités à l'échelon local, les minoteries de village sont souvent financées par des organismes de développement. Cependant, l'expérience montre qu'il y a plus d'enthousiasme chez les usagers si la communauté paie en plusieurs années au moins le coût de l'équipement.

Dans le contexte social considéré, il convient que toutes les transactions et les contributions financières de tous les intéressés soient reconnues et officiellement enregistrées, pour qu'on s'en souvienne dans l'avenir; ces mesures dissuaderont certaines personnes ou certains groupes d'agir comme si la minoterie était leur propriété personnelle.

INSTALLATIONS TYPES

Un service de meunerie typique comprend un décortiqueur à disques abrasifs, un broyeur, un moteur diesel ou des moteurs électriques et un tarare si c'est nécessaire. Les dimensions physiques de la minoterie dépendront du type d'équipement employé et de l'échelle des opérations.

Matériaux de construction et superficie

Le matériau de construction peut être aussi bien la terre battue que le ciment, mais il est important que le bâtiment ait des structures solides et qu'il soit bien ventilé, avec assez d'espace de travail et d'entreposage. En choisissant les matériaux et les techniques de construction, il faudra tenir compte des vibrations du matériel pendant le fonctionnement.

Les Figures 22 et 23 donnent un exemple de la construction des minoteries de Gambie. Dans ce cas, les murs du bâtiment sont en parpaing de ciment et le toit est fait de poutres et de tôles ondulées; l'espace de travail est partiellement entouré d'une clôture grillagée (Fig. 23) pour assurer une ventilation suffisante et éloigner les intrus. Dans certaines minoteries du Sénégal, les murs du bâtiment sont en tôle ondulée.

Les dimensions des minoteries pourront être différentes selon les conditions qui existent à différents endroits en ce qui concerne le terrain disponible, les dimensions de l'équipement, les moyens financiers, l'espace d'entreposage, etc. Il est cependant important de disposer d'un espace de travail suffisant autour de l'équipement, pour permettre l'entretien et assurer la sécurité du fonctionnement. Les dimensions du bâtiment dépendront de la taille du décortiqueur utilisé et du type d'activité — minoterie commerciale ou publique. Les minoteries utilisant les mini-décortiqueurs sont plus petites que celles qui emploient des machines RIIC, et une minoterie commerciale a besoin de plus d'espace d'entreposage qu'un service de meunerie.

Agencement et installation de l'équipement

L'agencement type d'une minoterie du Botswana utilisant un décortiqueur RIIC (Fig. 24) comprend un moteur diesel situé en dehors de l'espace de travail, pour actionner le décortiqueur et le broyeur. Les Figures 25 et 26 montrent les agencements pour le Mini-CRS en Gambie.

Sur la Figure 25, les décortiqueurs et les broyeurs sont entraînés par deux moteurs électriques séparés, tandis que l'installation que montre la Figure 26 n'utilise qu'un seul moteur diesel pour entraîner les deux machines. Dans les installations de Gambie, une salle de vannage est un élément important des minoteries, car le décortiqueur mini-CRS n'a pas de tarare incorporé.

Les minoteries utilisant un décortiqueur RIIC fonctionnent généralement avec un moteur diesel de 20 à 25 cv, installé dans un local séparé, hors de la zone de travail, afin de réduire le bruit (Fig. 24). Le courant est transmis au décortiqueur et au broyeur par un arbre intermédiaire qui peut être monté sur la cloison séparant la salle du moteur de l'espace de travail; cette méthode a été trouvée

efficace dans les installations du Botswana (Fig. 27). Un entraînement par courroie trapézoïdale permet de transmettre le courant du moteur à l'arbre intermédiaire puis au décortiqueur et au broyeur. Toutes les machines sont solidement ancrées au sol, avec des amortisseurs en caoutchouc pour réduire les effets des vibrations.

Une minoterie fonctionnant à l'électricité peut employer des moteurs de 3 cv pour le décortiqueur Mini-CRS et de 7,5 cv pour le broyeur. La Figure 28 montre cette installation simple, où le moteur et le décortiqueur sont montés sur un cadre en cornières et reliés par une courroie trapézoïdale. Un espace de travail suffisant est ménagé entre le décortiqueur et le broyeur (Fig. 25). Les minoteries fonctionnant à l'électricité ne sont pas soumises à des vibrations excessives et ne sont pas aussi bruyantes que celles qui utilisent un moteur diesel.

Dans la minoterie à moteur diesel avec décortiqueur Mini-CRS, le moteur 11 cv est monté sur un bâti (Fig. 29) entre le décortiqueur et le broyeur, et le courant est transmis par des courroies trapézoïdales et des poulies. De cette façon, l'ensemble complet est monté et aligné en atelier avant d'être amené au village. Cette méthode de montage a des avantages, mais il y a des cas où cet agencement n'est pas pratique, à cause des vibrations excessives du moteur et où il faut monter les machines sur des bâtis différents.

Il faut respecter certains principes fondamentaux d'ingénierie en installant l'équipement dans les minoteries, mais il n'est pas toujours possible d'avoir un agencement matériel identique dans toutes les minoteries utilisant le même type d'équipement. Premièrement, puisque les moteurs électriques sont moins coûteux que les moteurs diesel, il est conseillé de les employer dans les minoteries si l'on dispose d'une source fiable d'alimentation en électricité. Deuxièmement, on trouvera peut-être plus commode d'employer un seul gros moteur électrique pour faire fonctionner à la fois le décortiqueur et le broyeur plutôt que d'avoir deux moteurs. Troisièmement, s'il faut incorporer un décortiqueur à une minoterie

Fig. 22. Type de bâtiment abritant une minoterie en Gambie.

existante dont le broyeur est mû par un moteur diesel, il faudra peut-être que le décortiqueur ait son propre moteur diesel. C'est la situation qui se produira si la puissance du moteur diesel existant est insuffisante pour faire fonctionner à la fois le broyeur et le décortiqueur.

On envisagera attentivement, avant l'installation, la possibilité de ne pas se limiter à une seule source d'énergie. Le fait d'avoir deux moteurs augmenterait les immobilisations de la minoterie, mais pourrait avoir des avantages si une panne survenait à un moment où la minoterie ne peut pas se permettre de cesser de fonctionner. Il ne serait peut-être pas nécessaire, dans une petite minoterie, que le broyeur et le décortiqueur fonctionnent simultanément; dans ce cas, on pourrait envisager l'emploi de deux moteurs de dimensions appropriées.

Dans certains pays comme la Gambie et le Sénégal, beaucoup de broyeurs fonctionnent déjà sans décortiqueur. En Gambie, le décortiqueur Mini-CRS, sans tarare incorporé, est branché sur le moteur diesel 11 cv existant qui actionne les broyeurs. Au Sénégal, par contre, le décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA, doté d'un système de séparation du son avec son propre moteur 6,5 cv, fonctionne indépendamment du moteur qui actionne le broyeur. Quelle que puisse être la situation, il faut étudier la compatibilité des équipements avant l'achat et l'installation, afin de faire en sorte que les besoins en énergie soient satisfaits, que le sens de rotation du moteur corresponde à celui du décortiqueur et du broyeur, et que le système soit économiquement viable. Si l'on ne possède pas d'expertise technique et de connaissances sur les différentes composantes d'une minoterie, l'expérience montre qu'il est préférable d'acheter une minoterie vendue complète.

Fig. 23. Décortiqueur partiellement entouré d'une clôture grillagée.

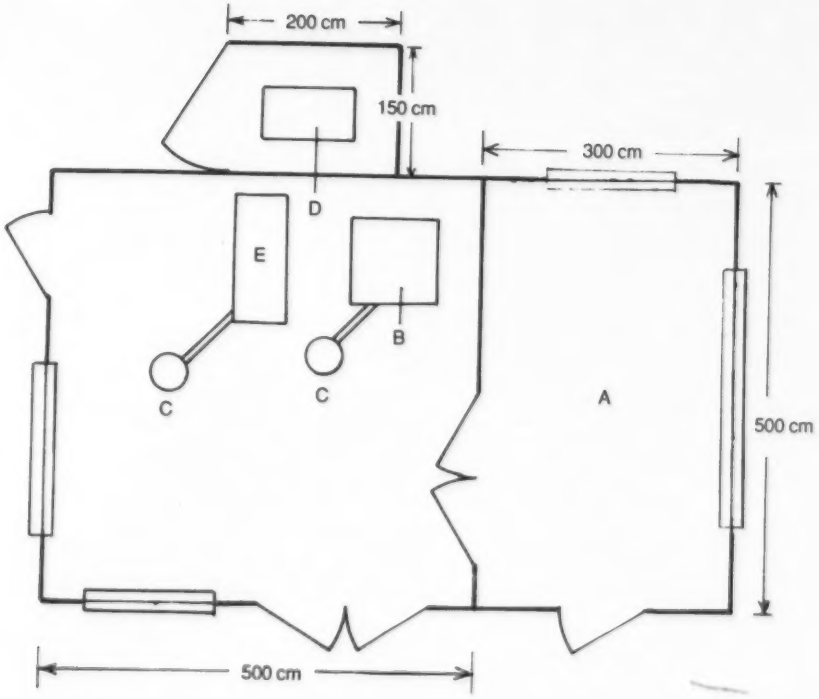

Fig. 24 Plan au sol type d'une minoterie utilisant un décortiqueur RIIC (tiré de Eastman, 1980). A, aire d'entreposage ; B, décortiqueur RIIC ; C, cyclones ; D, moteur ; E, broyeur.

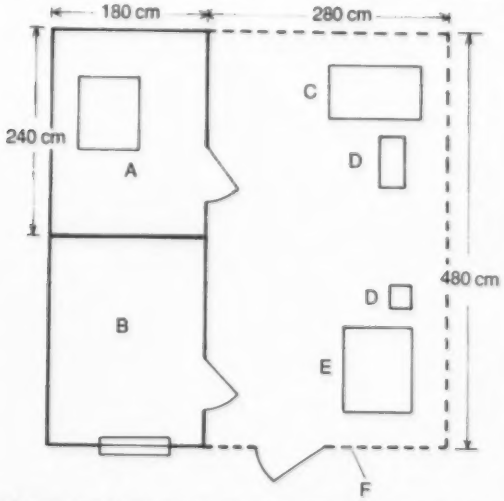

Fig. 25 Plan au sol type des minoteries de Gambie utilisant un décortiqueur Mini-CRS et des moteurs électriques. A, tarare ; B, aire d'entreposage ; C, broyeur ; D, moteurs ; E, décortiqueur ; F, clôture grillagée.

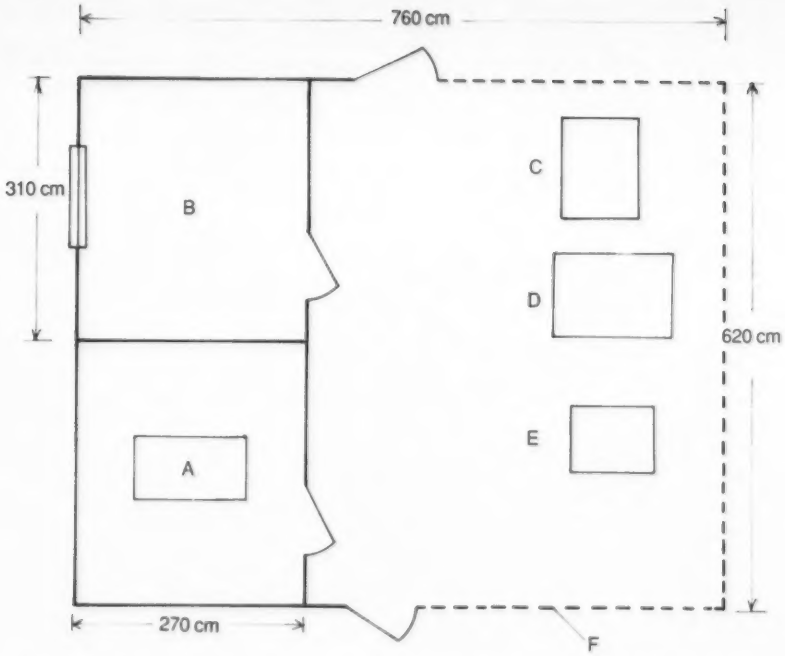

Fig. 26. Plan au sol d'une minoterie utilisant un décortiqueur Mini-CRS et un moteur diesel. A, tarare ; B, aire d'entreposage ; C, broyeur ; D, moteur ; E, décortiqueur ; F, clôture grillagée.

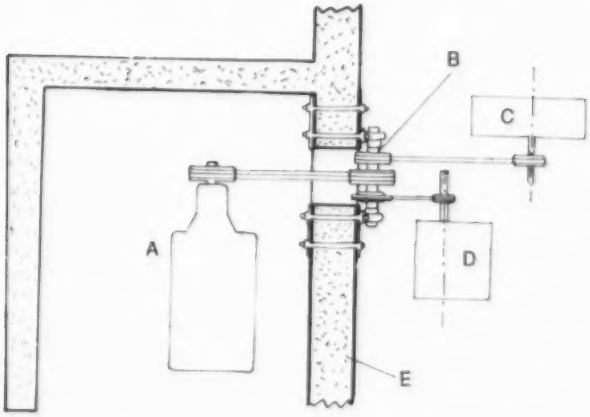

Fig. 27. Méthode employée pour relier le décortiqueur RIIC et le broyeur au moteur diesel, par un arbre intermédiaire mural (communiqué par RIIC, Botswana). A, moteur diesel ; B, arbre intermédiaire ; C, broyeur ; D, décortiqueur ; E, cloison.

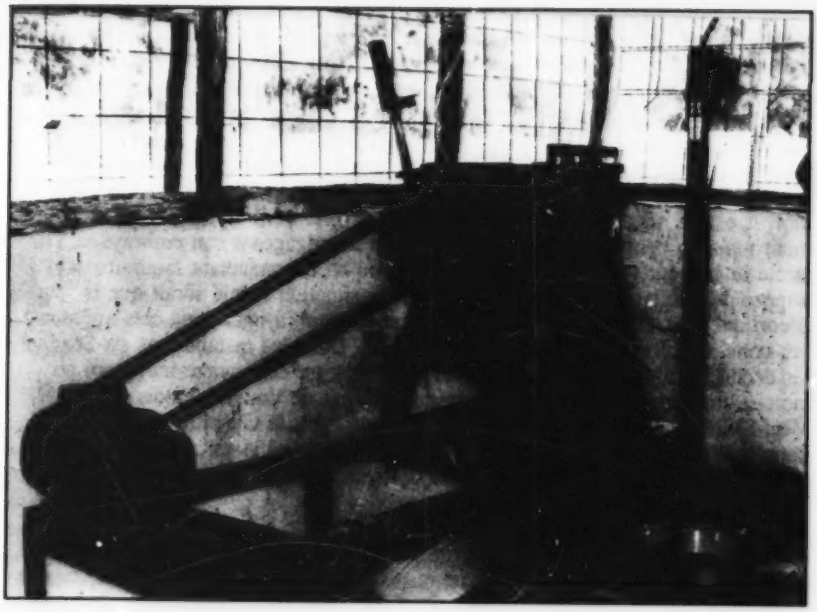

Fig. 28. Décortiqueur Mini-CRS à moteur électrique.

Fig. 29. Minoterie utilisant un décortiqueur Mini-CRS, un broyeur et un moteur.

Le rôle des embrayages dans les installations de minoterie est à mentionner spécialement. Dans les minoteries utilisant le décortiqueur RIIC, il faut un mécanisme à manette relié à l'embrayage du moteur, afin qu'un opérateur puisse, de l'intérieur de la minoterie, dégager rapidement l'équipement en fonctionnement du moteur situé à l'extérieur. L'embrayage n'est pas nécessaire pour un décortiqueur utilisant un moteur électrique, dont il est facile d'interrompre le fonctionnement. Une minoterie type de Gambie possède un décortiqueur mini-CRS (avec embrayage) et un broyeur reliés à un moteur. Lorsque le moteur est en marche, le décortiqueur et le broyeur sont tous deux en mouvement mais on peut arrêter le décortiqueur en désengageant son embrayage. On arrête le broyeur en débranchant le moteur ou en déconnectant la courroie trapézoïdale reliant le broyeur au moteur. La situation idéale serait que le décortiqueur et le broyeur possèdent chacun un embrayage, mais cela augmenterait considérablement le coût de l'équipement. Dans les installations du Sénégal, les décortiqueurs Mini-SISMAR/ISRA I utilisent un embrayage incorporé au moteur qui permet d'arrêter le décortiqueur avant de l'ouvrir, tandis que les Mini-SISMAR/ISRA II n'ont pas d'embrayage (voir le Chapitre 4). Il existe donc différentes options pratiques en ce qui concerne l'installation d'embrayages, dont l'emploi dépend du mode de fonctionnement requis et de la conception de l'équipement.

Les normes d'hygiène et de sécurité doivent être prises en compte. Cependant, il a été observé que les minoteries ne respectent pas ces normes. Il est nécessaire de prendre certaines précautions en ce qui concerne les pièces mobiles, le bruit, les gaz d'échappement des moteurs et la poussière de son et de farine.

- Toutes les pièces mobiles des machines doivent être couvertes, pour éviter que des parties du corps ou des vêtements ne soient happés. Beaucoup d'installations fonctionnent avec des courroies trapézoïdales et des éléments en rotation à nu. Les arguments souvent invoqués sont que le personnel de la minoterie ne s'en approche pas lorsque les machines sont en marche, que les clients ne sont pas admis auprès des machines et que l'on ferait augmenter les coûts en les couvrant. Aucun accident n'a été signalé jusqu'à présent, mais il vaut mieux les prévenir que de risquer d'en avoir.

- Les moteurs diesel et les broyeurs (moulins à marteaux) sont très bruyants. À la longue, cela risque d'entraîner des problèmes d'audition pour l'opérateur. Il est donc indispensable que le personnel de la minoterie ait les oreilles protégées. Cette protection n'est pas assurée dans les installations existantes.

- Le problème des gaz d'échappement peut être atténué si la zone de travail est entourée d'une clôture grillagée (Fig. 29) permettant une bonne ventilation. Il est fortement recommandé d'évacuer les gaz des moteurs à travers le toit ou sur le côté de la minoterie.

- L'utilisation de cyclones reliés au décortiqueur (Chapitre 4) réduit au minimum la pollution par la poussière de son dans la zone de travail dans les installations utilisant les décortiqueurs RICC, Nuhull ou Mini-SISMAR/ISRA. Dans le cas du Mini-CRS ou du Mini-ENDA, lorsque le grain décortiqué et le mélange de son sont vannés au moyen d'un tarare de type souffleuse actionné à la main, la poussière de son se disperse dans toute la

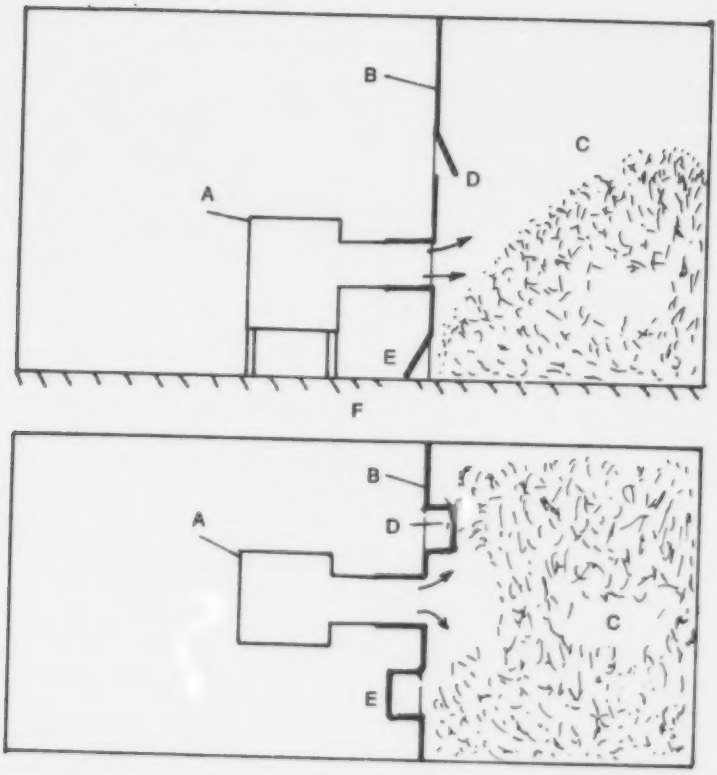

Fig. 30. Vues latérales (en haut) et en plan (bas) montrant la salle à poussière (à droite) à côté de la salle des machines contenant le tarare (à gauche). A, tarare ; B, cloison de toile ; C, son ; D, trappe d'observation ; E, trappe pour vider le son de la salle à poussière ; F, sol.

zone de vannage. Un agencement dans lequel le tarare actionné à la main est relié à un espace clos, coupé du reste de la minoterie par une toile, améliore la situation (Fig. 30). Tout le son est recueilli dans cet espace et vidé périodiquement. Malheureusement, cet agencement n'est réalisé que dans une seule installation.

- La poussière de farine du broyeur ne pose pas grand problème. Néanmoins, il est recommandé que tout le personnel de la minoterie porte des masques lorsque les broyeurs ou les décortiqueurs sont en marche.

L'installation des minoteries doit donc être basée sur les pratiques normales d'ingénierie. Étant donné qu'en milieu rural les moyens techniques sont souvent limités, il faut procéder à l'installation en se conformant aux recommandations du fabricant et de techniciens ou d'ingénieurs qualifiés, afin d'assurer un fonctionnement sûr et fiable tout en économisant les ressources financières.

Fonctionnement des minoteries

Parmi les facteurs qui influent sur le fonctionnement d'une minoterie, quelques-uns des plus importants sont le choix de l'emplacement, une clientèle suffisante, un personnel efficace, une bonne gestion générale, un fonctionnement optimal des machines, un coût peu élevé de mouture, un inventaire adéquat de pièces de rechange et un entretien satisfaisant, y compris les réparations. L'observation du fonctionnement d'installations rurales montre que le bon fonctionnement d'une minoterie avec décortiqueurs à disques abrasifs ne peut être assuré si toutes ces conditions ne sont pas réunies.

Gestion de la minoterie

Les minoteries à mini-décortiqueurs peuvent fonctionner de façon satisfaisante avec un seul opérateur (pas nécessairement alphabétisé) et un gestionnaire alphabétisé, mais il faut deux opérateurs et un gestionnaire pour les minoteries à décortiqueur RICC ou Nuhull. Il est utile que les opérateurs possèdent certaines connaissances techniques et qu'ils aient reçu une formation portant sur le fonctionnement, l'entretien quotidien et la maintenance de toutes les machines. Ils ne doivent pas nécessairement savoir réparer les différents types de machines, mais cela serait un atout. En pratique, il ne faut que quelques heures de formation sur le tas, sous supervision, pour faire acquérir aux opérateurs les connaissances et l'assurance nécessaires pour assurer la marche de la minoterie.

Les gestionnaires de minoterie reçoivent les grains qu'on leur amène à traiter, ils les pèsent et perçoivent le paiement, notent les données pertinentes relatives au traitement et supervisent le fonctionnement quotidien de la minoterie. Les opérateurs sont souvent des hommes, en raison de la structure sociale existante, qui n'encourage pas les femmes à faire fonctionner des machines. Par contre, les femmes remplissent bien les fonctions de gestionnaire, car elles comprennent les besoins d'une clientèle féminine. Il convient de faire remarquer, cependant, que rien n'empêche les femmes d'être opérateur de minoterie, si ce n'est des barrières sociales difficilement surmontables.

Dans les villages, la gestion générale des minoteries est assurée par des comités de village, choisis par la population. Leur structure et la méthode de sélection dépendent des coutumes locales, qui ne sont pas les mêmes d'une région à une autre d'un même pays. Dans certains cas, le comité de gestion est formé de représentants de tous les villages qui utilisent la minoterie. On a aussi trouvé utile qu'un comité exécutif représente le comité de gestion, plus grand, pour la gestion quotidienne de la minoterie; il se réunit tous les mois et rend compte une ou deux fois par an au comité de gestion. Toutes les dépenses de fonctionnement de la minoterie doivent être approuvées par le comité exécutif, qui fixe les prix et qui engage ou licencie le personnel.

Pour avoir un comité efficace, il convient qu'une formation soit dispensée à ses membres par des agents qualifiés du gouvernement ou d'un organisme de développement. Il faut leur faire prendre conscience de l'importance de leurs responsabilités, en insistant sur l'aspect économique du fonctionnement de la minoterie. Les formateurs des membres du comité exécutif devront les inciter à tenir des procès-verbaux des réunions, ce qui leur permettra de mieux rendre

compte à la communauté. Le trésorier établira les états financiers. Le problème est qu'il est parfois difficile de trouver un villageois suffisamment instruit pour prendre note des décisions du comité ou des mesures importantes qui sont prises. Dans la pratique, cependant, il est souvent possible, à défaut d'un villageois alphabétisé, de coopter un vulgarisateur qui travaille au village.

D'après les résultats des expériences réalisées sur le terrain en Gambie (Schoonmaker Freudenberger 1988), les comités de village ont besoin d'une formation bien organisée et d'un suivi constant pour être efficaces. S'il n'y a pas de comité, cela compromettra généralement la viabilité économique et technique et l'acceptabilité sociale de la minoterie. Lorsque des minoteries à gestion villageoise ont connu des problèmes, ceux-ci étaient dus au comportement autocratique d'une ou plusieurs personnes, ou encore à la malhonnêteté et au manque d'intérêt de certains membres. On réduira ces problèmes au minimum en choisissant avec soin des villages possédant des structures de gestion déjà mises à l'épreuve avec succès dans des activités analogues.

D'après les données que l'on possède, les minoteries gérées par un particulier qui a un intérêt à gagner sa vie de cette façon sont mieux gérées. L'expérience acquise dans différents pays en ce qui concerne les broyeurs montre que ceux qui appartiennent à des particuliers restent plus longtemps en fonctionnement et ont une plus longue durée de vie que les machines appartenant à des villages, qui connaissent plus fréquemment des problèmes. Une des minoteries utilisant un décortiqueur Mini-CRS et un broyeur était mieux gérée que toutes les autres minoteries de village dotées de ce décortiqueur (Schoonmaker Freudenberger 1988).

Optimisation du fonctionnement

C'est l'opérateur qui assure le fonctionnement optimal du décortiqueur à disques abrasifs et il devrait connaître les conditions de fonctionnement pour les différents grains. L'idéal serait d'employer, pour chaque type de grains et chaque machine, la vitesse optimale de rotation des disques pour la charge de grain donnée. Cela n'est pas réalisable en fonctionnement normal, à cause des relations complexes qui s'établissent entre la quantité de grain dans le décortiqueur, la vitesse des disques, le temps de décorticage et la consommation de carburant, comme le montrent, par exemple, les Figures 31 et 32 pour le mil *Souna*. Le degré de décorticage est accru lorsque le temps de décorticage, la vitesse des disques et la masse de grain augmentent (Fig. 31), mais la consommation d'énergie augmente également (Fig. 32). Ces courbes de performances dépendent en outre de l'état des disques. Dans la pratique, les décortiqueurs fonctionnent donc à une vitesse fixe pour tous les grains (1 500 à 2 000 tours/minute pour les mini-décortiqueurs et 1 500 à 2 400 tours/minute pour les RICC), car ces plages de vitesses donnent des grains décortiqués de façon satisfaisante moyennant une consommation d'énergie raisonnable. Les plages recommandées de vitesses de fonctionnement pour les différents types de décortiqueurs sont indiquées par les fabricants.

D'habitude, les opérateurs décortiquent jusqu'à l'obtention d'un certain rendement désiré. Pour le sorgho et le mil, les décortiqueurs peuvent obtenir ce rendement en 3 à 5 minutes, selon les préférences du consommateur et l'usure des disques. Les temps de décorticage sont sensiblement plus élevés pour

certains grains et moins élevés pour d'autres; par exemple, un grain local de Gambie appelé *findi* (*Digitalis exilis*) dont la grosseur est à peu près 10 % de celle du sorgho, peut être décortiqué en 10 à 15 minutes, tandis que le Mini-CRS peut décortiquer les semences de sésame en à peu près une minute. En général, il faut que les opérateurs fassent fonctionner le décortiqueur à une vitesse fixe et fassent varier la durée pour obtenir le rendement que désire le consommateur.

Prix du décorticage

Le prix du décorticage et de la mouture est d'une importance décisive pour la viabilité économique de la minoterie. Si l'on suppose qu'il y a suffisamment de grains à décortiquer et suffisamment de clientèle pour la minoterie, il faudra fixer le prix du traitement du kilogramme de grain sur la base d'une analyse économique standard, en prenant en compte certains facteurs, tels les dépenses d'investissement, d'exploitation et de fonctionnement, les taux d'intérêt, l'inflation, les dépenses de remplacement de l'équipement, le bénéfice, les quantités de grain à traiter, etc.

Les minoteries exploitées par un entrepreneur fixent le prix du traitement sur la base d'un calcul économique simple. On possède pour une minoterie de ce type des données selon lesquelles le propriétaire avait initialement fixé un prix du décorticage qui assurait un bénéfice raisonnable, puis a augmenté ce prix plusieurs fois sans baisse à long terme de la quantité de grain traitée (Schoonmaker Freudenberger 1988). Nous devons souligner cependant qu'il s'agit d'une minoterie fonctionnant à l'électricité, dans une communauté semi-urbaine, et qui n'est concurrencée par aucun autre décortiqueur.

Par ailleurs, les minoteries de village gérées par un comité hésitent à percevoir pour le traitement un prix qui assurerait leur fonctionnement viable. Elles sont souvent soumises à des pressions pour satisfaire la communauté et n'ont pas entièrement conscience de la nécessité de prévoir le remplacement de l'équipement. Ces minoteries ont donc tendance à ne pas être exploitées selon des critères économiques. Il faut donc s'efforcer de leur apporter initialement l'aide d'un expert afin d'établir des tarifs de décorticage et de broyage qui permettront au moins de faire face, chaque mois, aux engagements financiers essentiels.

Différents systèmes ont été employés pour faire payer les frais de mouture:

- prix par kilogramme fixés séparément pour le décorticage et pour le broyage;
- établissement d'un prix fixe par kilogramme, que ce soit pour le décorticage ou pour le broyage;
- fixation d'un prix par kilogramme lié à la quantité à décortiquer, en tenant compte du fait qu'une plus petite quantité de grain utilise plus d'énergie par kilogramme (Fig. 32).

Ces systèmes de fixation des prix ont donné des résultats divers et l'expérience montre que chaque système doit être réévalué de temps en temps; c'est par tâtonnements, sur la base de la réaction des usagers, que l'on arrivera à un prix stable.

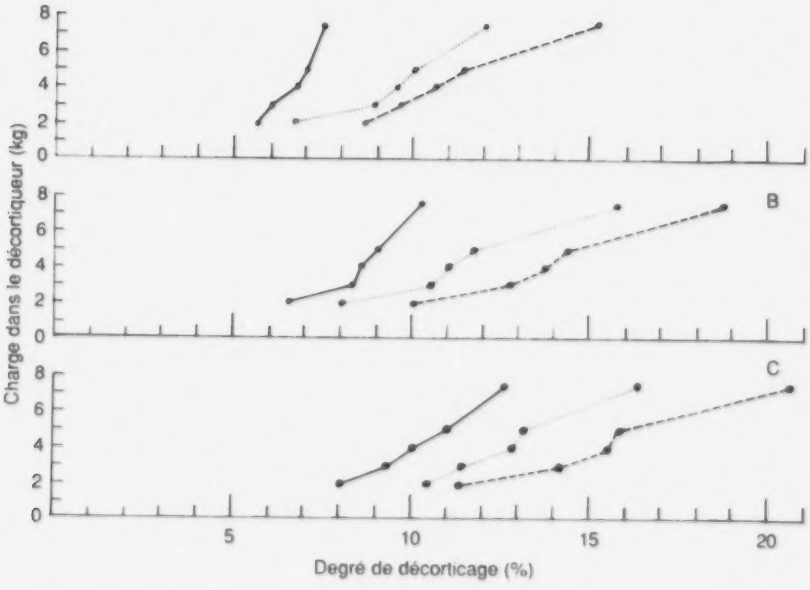

Fig. 31. Degré de décorticage en fonction de la durée du décorticage (A, 3 minutes; B, 4 minutes; C, 5 minutes) et de la vitesse de rotation (ligne pleine, 1500 rpm; ligne pointillée, 1750 rpm; tiraits, 2000 rpm) pour le décortiqueur Mini-PRL (tiré de Mbengue, 1986).

Il faut que les femmes aient de l'argent pour payer le traitement mécanique. Le manque de liquidités dans les villages, en raison du très faible niveau de revenus, constitue un obstacle important au fonctionnement viable des décortiqueurs dans toute communauté pauvre. Si les femmes ne sont pas clientes des minoteries, une des principales raisons est sans doute qu'elles ne peuvent pas payer les prix pratiqués.

Les quantités de grain à décortiquer sont un autre facteur qui influe sur le niveau des prix de traitement. À cause des conditions climatiques, par exemple, certaines minoteries traitent de petites quantités de grain, ce qui les oblige à demander plus cher pour le décorticage d'une certaine quantité. Cela aboutit à des tarifs de traitement si élevés que les clients ne peuvent pas se permettre de recourir à la minoterie ou si bas que la minoterie n'est pas viable. La Figure 33 montre une gamme de coûts estimatifs réalistes pour le décorticage et le broyage de différentes quantités traitées, pour des minoteries de Gambie utilisant un décortiqueur Mini-CRS et un broyeur à moteur diesel. Une comparaison entre les points de fonctionnement de plusieurs minoteries de village et le point de référence correspondant à l'équilibre indique que ces minoteries devraient percevoir des prix de traitement assez élevés pour être économiquement viables.

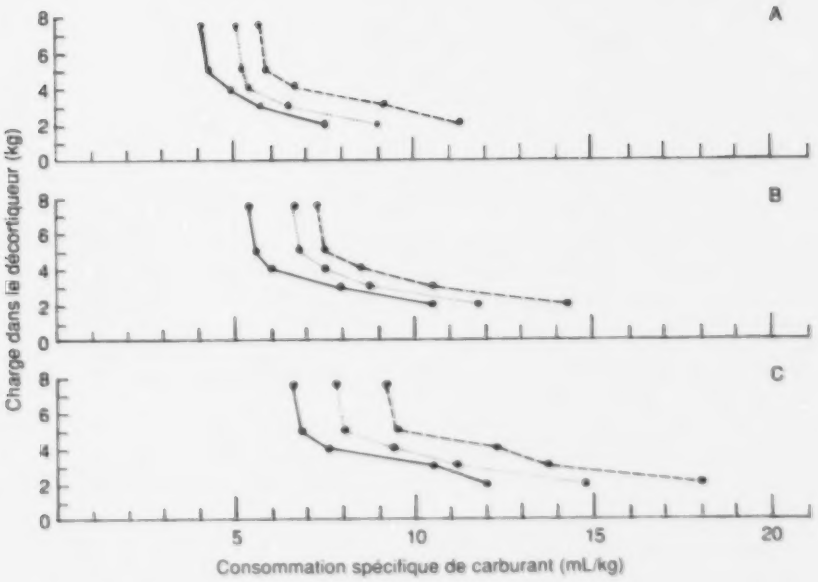

Fig. 32. Consommation de carburant en fonction de la durée du décorticage (A, 3 minutes ; B, 4 minutes ; C, 5 minutes) et de la vitesse de rotation (ligne pleine, 1500 rpm ; ligne pointillée, 1750 rpm ; tirets, 2000 rpm) pour le décortiqueur Mini-PRL (d'après Mbengue, 1986).

Quantités de grain à décortiquer

Les quantités à décortiquer par client varient entre 3 et 7 kg dans les pays d'Afrique occidentale et peuvent atteindre 18 kg au Zimbabwe. C'est pourquoi la capacité des décortiqueurs Mini-CRS et Mini-SISMAR/ISRA est différente de celle du Mini-ENDA. À une vitesse de traitement et de déchargement de 6 kg en 4 minutes, les décortiqueurs Mini-CRS et Mini-SISMAR/ISRA, peuvent traiter en 8 heures 600 kg de grains tandis que la machine Mini-ENDA pourra en traiter 1000 kg au cours de la même période.

Les quantités typiques de sorgho, de mil et de maïs décortiquées au Sénégal et en Gambie, respectivement au moyen des décortiqueurs Mini-SISMAR/ISRA et Mini-CRS, sont indiquées sur les Figures 34 à 36. En Gambie, par exemple, une minoterie fonctionnant à l'électricité a traité plus de 24 tonnes de grains en 365 jours, avec des quantités mensuelles variant de 0,5 à 3,5 tonnes. Certaines minoteries du Sénégal décortiquent jusqu'à 0,5 t/jour. Les quantités décortiquées dépendent de l'époque de l'année ; les débits sont bas avant la saison des récoltes et vers le milieu du mois, tandis que des quantités plus importantes sont traitées lors de certaines cérémonies locales, certains jours fériés locaux, au début du mois, etc. La Figure 34 montre la réaction de l'usager à une augmentation du prix du décorticage ; la quantité décortiquée diminue lorsque le tarif augmente, mais au bout d'un certain temps elle augmentera de nouveau.

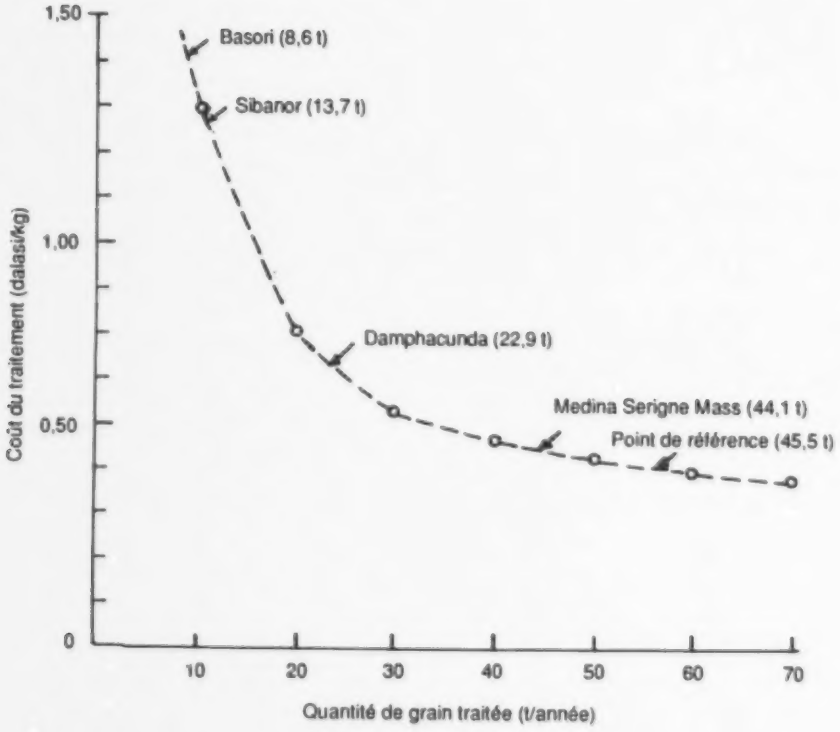

Fig. 33. Estimations du coût du décorticage et du broyage, pour différentes capacités de grain, en employant un décortiqueur CRS, un broyeur à marteaux et un moteur diesel (tiré de Schoonmaker Freudenberger, 1988). Les points indiquent les estimations de coût pour une certaine capacité supposée. Les flèches indiquent le débit annuel en 1987 et des coûts de traitement réalistes à ce niveau d'utilisation pour différentes minoteries; le point de référence est le débit minimum qui rendra la minoterie économiquement viable, compte tenu des disponibilités en argent liquide dans les villages (1 dalasi de Gambie [GMD] = 0,1606 $ US [USD]).

L'influence de la quantité de grain décortiquée sur les performances économiques peut être évaluée d'après la Figure 32. D'après des essais réalisés dans neuf villages, il est souhaitable de traiter de grandes quantités de mil, de sorgho ou de maïs (Tableau 11). Les minoteries qui traitent de plus gros lots et dont la capacité journalière est plus grande ont une plus faible consommation de carburant.

Utilisation des décortiqueurs comparée à celle des broyeurs

Les broyeurs sont plus largement utilisés que les décortiqueurs (Fig. 34), notamment parce qu'ils existent depuis plus longtemps et parce que les femmes sont habituées à payer pour ce service. Les décortiqueurs à disques abrasifs sont nouveaux et, là où d'autres types de décortiqueurs avaient été installés, ceux-ci n'avaient pas donné de résultats satisfaisants. Une autre raison de la plus faible

utilisation des décortiqueurs à disques abrasifs est que certaines femmes préfèrent le produit du décorticage par voie humide, qui donne au grain un goût caractéristique. Cependant, il est à prévoir que cette réserve disparaîtra à mesure

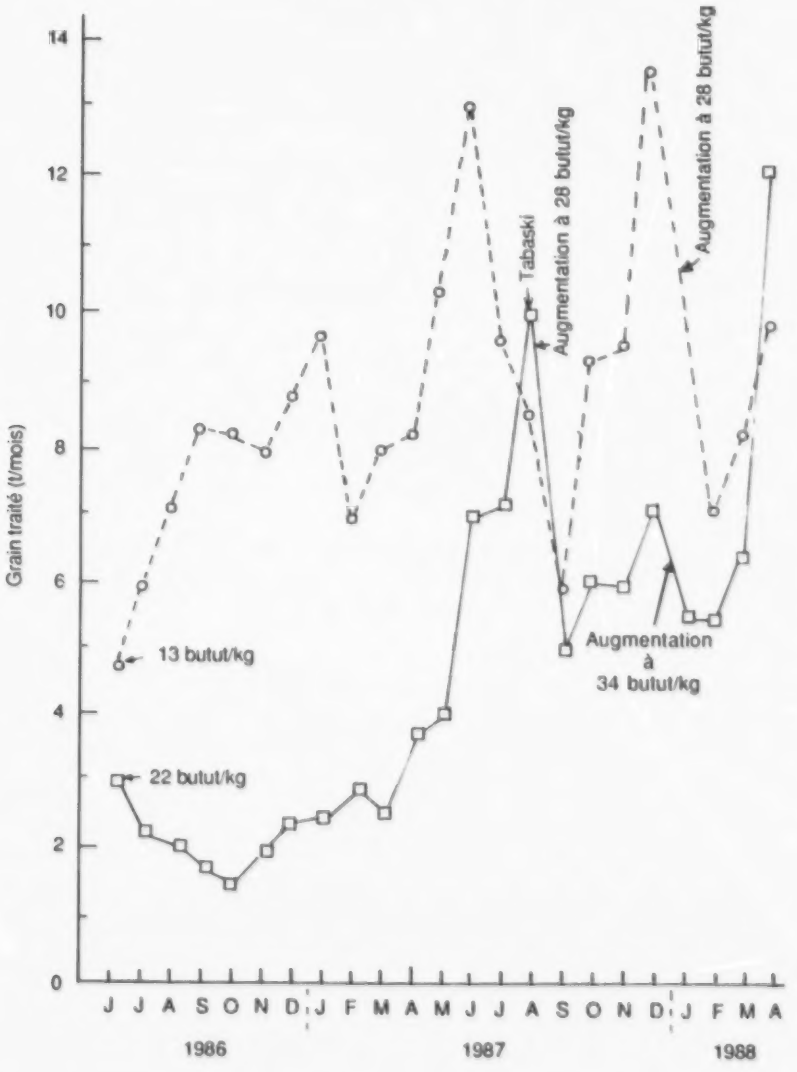

Fig. 34. Capacités mensuelles pour le décortiqueur et le broyeur à marteaux, à la minoterie de Brikama (Gambie), fonctionnant à l'électricité (tiré de Schoonmaker Freudenberger, 1988). Ligne pleine, décorticage ; traits, broyage ; le Tabaski est un jour de fête local ; 100 butut = 1 GMD = 0,1606 USD

que les femmes s'habitueront au décorticage mécanique; certains clients utilisent maintenant les décortiqueurs pour traiter de grosses quantités de grains qu'ils entreposent et lavent ensuite à l'eau, de manière à obtenir un goût semblable à celui que produit le décorticage humide.

Il a été avancé récemment (Schoonmaker Freudenberger 1988) que les femmes pourraient regarder le broyage mécanique comme une activité permettant de réaliser une économie; certaines femmes ont déclaré que le broyage à la machine donne plus de farine que le pilage traditionnel. Étant donné que la clientèle accorde priorité au broyage et que l'on a observé que les décortiqueurs donnent des grains qu'il est difficile de piler à la main, un broyeur devrait toujours être installé avec le décortiqueur à disques abrasifs.

Entretien et pièces de rechange

L'entretien joue un rôle important dans le fonctionnement des minoteries. Pour une minoterie fonctionnant à l'électricité, l'entretien se limite à épousseter périodiquement les machines, resserrer les écrous et remplacer les disques usés des décortiqueurs. Par contre, les minoteries utilisant un moteur diesel demandent beaucoup plus de soin. En plus du nettoyage, qui empêchera que le

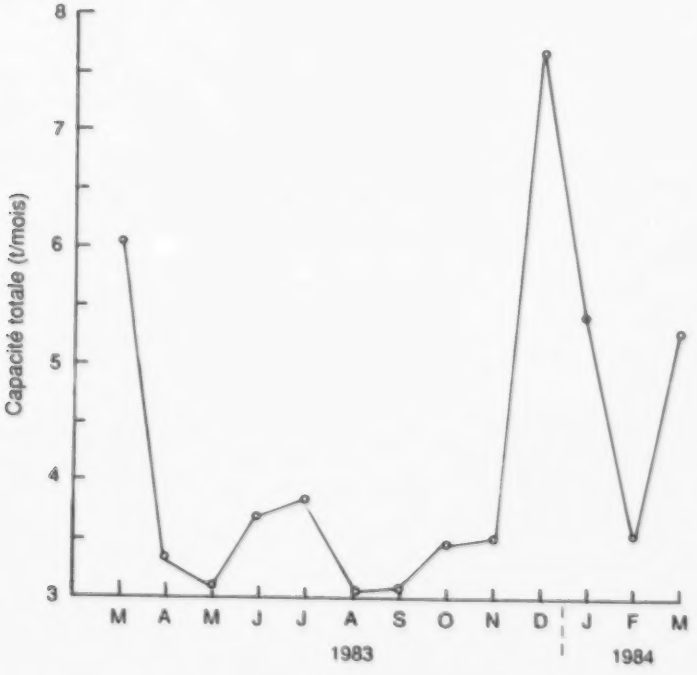

Fig. 35. Capacité mensuelle pour une minoterie rurale fonctionnant au diesel à Damphacunda (Gambie) (tiré de Schoonmaker Freudenberger, 1988).

son et la poussière de farine n'affectent le fonctionnement du moteur, il faut procéder à l'entretien de base du moteur diesel conformément au manuel d'instructions. Plus de 90% du temps d'arrêt de ces minoteries est dû à des défaillances du moteur, provenant d'un mauvais entretien par les opérateurs.

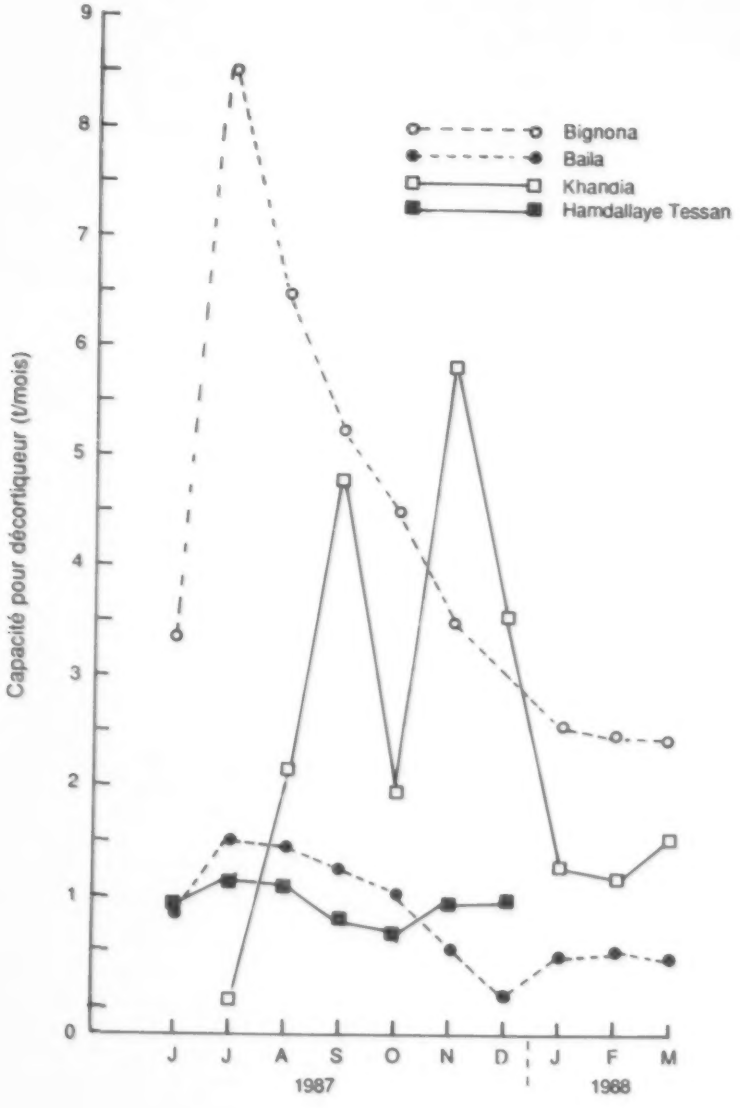

Fig. 36. Capacité mensuelle pour décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA I utilisé dans quatre minoteries rurales fonctionnant au diesel (tiré de Mbengue, 1988).

Tableau 11. Effet de la capacité journalière sur la consommation de carburant de minoteries utilisant le décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA I.

Lieu	Population	Consommation spécifique moyenne de carburant (mL/kg)	Capacité journalière moyenne (kg/jour)	Quantité totale décortiquée au cours d'une période de 10 mois (kg)
Baila	1 400	20,41	34	8 378
B. Tialene	1 700	13,84	64	13 151
Bignona	25 000	12,51	179	42 122
Hamdallaye Tessan	1 000	18,83	38	7 114
Kartiack	2 300	24,77	22	4 982
K.S. Kane	3 700	16,93	96	18 195
Khandiar	700	10,15	145	22 561
Lambaye	5 000	14,40	34	8 056
Mont Roland	5 000	15,81	30	4 288

Source : Mbengue (1988).

Dans les minoteries soumises à de fortes vibrations provenant du moteur, il y a fréquemment des réparations, et donc des arrêts, car les décortiqueurs et les broyeurs ont tendance à se fissurer, les pièces se desserrent et les courroies trapézoïdales s'usent ou s'étirent.

Le manque de pièces de rechange peut menacer le bon fonctionnement de la minoterie. Des pièces telles que les disques abrasifs, les paliers et les pièces de rechange pour moteur diesel devraient pouvoir se trouver localement, mais cela n'est pas souvent le cas. Il est bon que les fabricants de décortiqueurs tiennent en stock une certaine quantité de pièces de rechange, que les minoteries pourront acheter. On trouve des disques abrasifs dans quelques grandes villes, mais les spécifications de la surface ne sont pas toujours celles qui sont recommandées. Les minoteries auront intérêt à garder en stock une certaine quantité de pièces de rechange et à reconstituer régulièrement ce stock.

Durée de vie des disques et performance du décortiqueur

On ne possède pas de données détaillées et concluantes sur la durée de vie des différents types de disques abrasifs (meules ou disques légers). Cependant, les résultats d'essais effectués dans des villages du Sénégal avec le décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA I indiquent que la durée de vie des disques (degré d'usure) dépend de la quantité de grains décortiquée dans chaque lot. On a comparé l'usure des disques (Tableau 12) pour les machines implantées à Bignona, Khandiar et Hamdallaye Tessan, après le décorticage de 24 tonnes, 21 tonnes et 4 tonnes de grains respectivement (Mbengue 1988).

Les minoteries de Bignona et de Khandiar traitent de plus grandes quantités de grain que celle de Hamdallaye Tessan (Tableau 12) et traitent des lots de plus de 6 kg, tandis que cette dernière traite des lots de 2 à 3 kg. Le diamètre, l'épaisseur et la masse des dix disques de chaque décortiqueur, ainsi que les valeurs moyennes, montrent clairement que la minoterie de Hamdallaye Tessan,

bien qu'ayant traité une quantité représentant moins de 20 % de celle que les autres minoteries ont traitée, présentait une usure nettement supérieure, mesurée au diamètre et à la masse des disques. Mbengue a expliqué ainsi ces différences d'usure (1988) : lorsqu'il y a un petit lot de grain dans le décortiqueur, il est traité par les bords des disques, qui s'usent, tandis que pour de plus gros lots, le décorticage est effectué davantage par la surface des disques, ce qui réduit l'usure sur les bords. Il est donc plus avantageux de faire fonctionner les décortiqueurs avec l'auge remplie.

C'est sur la base de ces résultats d'essais sur le terrain que l'on a conçu le décortiqueur Mini-SISMAR/ISRA II, à compartiments jumeaux, qui permet le fonctionnement simultané des compartiments remplis par des lots de 3 à 4 kg de grain, ce qui optimise la consommation d'énergie et réduit l'usure des disques abrasifs.

ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE ET DES EFFETS DES DÉCORTIQUEURS

On ne peut améliorer la performance d'une minoterie que sur la base d'une évaluation de sa performance générale et de ses effets sur les usagers. Pour réaliser cette évaluation, il faut recueillir des données techniques et socio-économiques pendant au moins un an. Les responsables de la mise en service du décortiqueur devront maintenir des contacts étroits avec le personnel de la minoterie, le comité de gestion et les usagers, pour être informés de l'efficacité du système dans son ensemble.

L'évaluation sera plus facile si l'on veille à ce qu'il soit pris note des quantités de grains décortiquées et des quantités de farine produites, de la consommation de carburant ou d'électricité, des frais d'entretien et de la fréquence des pannes. Des entrevues réalisées avant, pendant et après une période spécifiée, qui ne devrait pas être inférieure à un an, permettent d'évaluer différents facteurs liés aux effets socio-économiques de la minoterie sur la population. Voici quelques-unes des questions auxquelles des réponses devront être apportées par une équipe interdisciplinaire, formée des chercheurs en sciences sociales et en technologie :

- Quelle est la qualité du produit ? Cette qualité est-elle obtenue de façon constante ?
- Est-il facile ou difficile de faire fonctionner la minoterie ?
- Quelle est la fréquence des pannes et quelle en est la cause ?
- Avec quelle fréquence faut-il changer les disques abrasifs ? Comment leur usure affecte-t-elle l'efficacité de la minoterie ?
- Quelle est la consommation d'énergie par poids unitaire de grains traités ?
- Quelles sont les quantités de grain à traiter par jour, par semaine, par mois et sur une base saisonnière ?
- Quel est le poids moyen de grain à décortiquer par client ?
- La minoterie fait-elle des bénéfices raisonnables ?

Tableau 12. Usure subie par chaque disque de résinoïde des machines de trois minoteries villageoises du Sénégal.

Numéro du disque	Bignona (après décorticage de 24 t)			Khandiar (après décorticage de 21 t)			Hamdallaye Tessan (après décorticage de 4 t)		
	Diamètre (mm)	Épaisseur (mm)	Masse (g)	Diamètre (mm)	Épaisseur (mm)	Masse (g)	Diamètre (mm)	Épaisseur (mm)	Masse (g)
1	229	34	287,6	240	28	275,0	202	31	215,4
2	230	32	275,1	243	28	300,0	159	30	130,9
3	232	33	299,7	242	29	300,0	164	33	142,7
4	233	33	295,7	243	29	296,0	162	33	140,0
5	230	32	289,1	243	29	303,4	166	33	149,9
6	235	30	287,1	244	31	330,3	174	33	163,4
7	225	31	246,2	243	30	305,2	174	33	162,6
8	228	32	274,3	243	29	308,2	175	34	167,6
9	228	30	266,4	240	28	280,8	180	35	180,2
10	224	31	249,0	243	30	306,0	227	32	278,1
Valeurs moyennes	229,4	31,8	277,0	242,4	29,1	300,6	178,3	32,7	173,1
% d'usure[a]	9,7	11,7	25,2	4,6	19,2	18,8	29,8	9,2	53,3

[a] Pourcentage d'usure par rapport à des disques neufs : diamètre = 254 mm ; épaisseur = 36 mm ; masse = 370,3 g.

- Le nombre de clien qui font décortiquer des lots a-t-il tendance à augmenter ou à diminuer?
- Quels sont, de l'avis des usagers, les avantages de la minoterie?
- Quels sont les changements dans la préparation des aliments, les habitudes alimentaires et l'état nutritionnel de la population?
- Comment les femmes utilisent-elles le temps que l'utilisation de la minoterie permet de libérer?
- Quels sont les changements sociaux ou économiques découlant de l'existence de la minoterie?

En acquérant davantage d'expérience du fonctionnement des minoteries, on disposera de plus de renseignements pour présenter des études de cas. Celles-ci aideront à planifier les minoteries futures et à en assurer le bon fonctionnement.

CHAPITRE 7
DE LA RECHERCHE À LA DIFFUSION

Ce dernier chapitre revient aux questions qui ont été abordées dans l'introduction, en résumant les divers problèmes auxquels la technologie dont il a été question peut apporter une solution. Deux figures présentent les caractéristiques du système alimentaire existant, à base de sorgho et de mil, et montrent comment on peut influencer ce système en intervenant avec les petits décortiqueurs. Nous analyserons ensuite les étapes à prévoir pour réaliser avec succès la recherche axée sur le développement. Enfin, nous examinerons le rôle du chercheur qui se livre à la recherche appliquée et ses responsabilités dans une plus large diffusion de cette technologie.

UTILITÉ DES DÉCORTIQUEURS

Les expériences collectives réalisées jusqu'à présent nous amènent à conclure que les décortiqueurs peuvent jouer un rôle important dans les systèmes alimentaires basés sur le sorgho et le mil en Afrique sub-saharienne. De nombreux facteurs définissent l'étendue de ce rôle et beaucoup d'entre eux relèvent des responsables chargés de définir les politiques nationales en matière d'alimentation, de production agricole et de sécurité alimentaire des foyers.

Les décortiqueurs à disques abrasifs sont de solides candidats comme solution aux problèmes là où:

- les femmes et les enfants consacrent chaque jour beaucoup de temps à traiter manuellement leur grain avant de pouvoir le consommer;
- les préférences alimentaires vont à des céréales qui ne poussent pas bien dans les contrées sèches et où l'absence de machines de traitement appropriées contribue à un appauvrissement de l'agriculture sèche autochtone;
- les éléments antinutritionnels que contient le grain, les polyphénols, ne peuvent pas être entièrement éliminés par les techniques de traitement traditionnelles, ce dont résulte probablement une détérioration de l'état nutritionnel, spécialement pour le secteur le plus vulnérable de la population.

D'après les résultats des recherches appliquées, les décortiqueurs sont techniquement capables de contribuer à la solution de ces trois problèmes. La section qui suit présente une analyse du système alimentaire à base de sorgho et de mil, et indique à quels points il est possible d'intervenir pour améliorer ce système alimentaire.

EFFET D'UNE INTERVENTION TECHNOLOGIQUE SUR LE SYSTÈME ALIMENTAIRE

Tout en sachant que l'Afrique traverse des changements sociaux rapides, dont l'urbanisation croissante est un aspect essentiel, on rappellera au lecteur deux faits importants:

- 80 % de la population africaine vit toujours dans les régions rurales, compte largement sur l'agriculture de subsistance pour sa survie et est relativement pauvre;
- une proportion importante de la production alimentaire reste sur place pour être consommée par les familles rurales. Cela est spécialement vrai pour les petites céréales, le sorgho et le mil, faute de demande pour l'excédent de production.

La définition d'un système alimentaire et sa description sont inextricablement liées aux gens qui consomment les aliments et à leur environnement. La population vivant dans les zones semi-arides, et dépendant de céréales résistantes

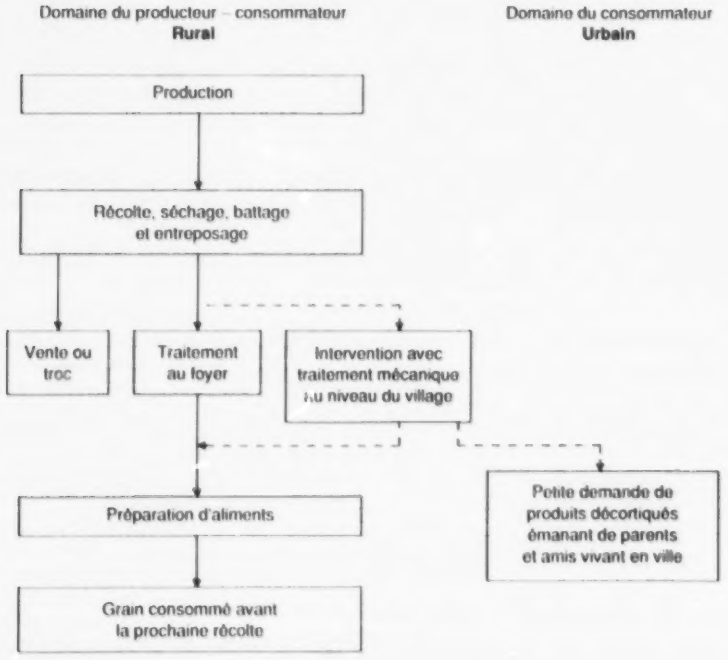

Fig. 37. Effet de l'introduction de décortiqueurs implantés dans les zones rurales sur les systèmes alimentaires.

à la sécheresse telles que le sorgho et le mil, appartient au domaine du producteur-consommateur. De même, on peut définir les habitants des villes comme appartenant au domaine des consommateurs non producteurs d'aliments.

Le concept de ces deux domaines est employé dans les Figures 37 et 38 pour suggérer un scénario d'application de la technologie des décortiqueurs à deux points d'intervention différents. Dans le cas particulier du sorgho et du mil, qui sont des céréales négligées, les figures représentent des interventions successives délibérées, d'abord dans le domaine du producteur-consommateur et ensuite dans le domaine du consommateur non producteur.

Les effets de l'introduction de décortiqueurs dans les régions rurales sont présentés sur la Figure 37. L'effet majeur prévu sera d'atténuer dans chaque foyer un problème de charge de travail, ce qui contribuera à relever la qualité de la vie rurale. Au début, l'existence des décortiqueurs ne sera guère remarquée dans les régions urbaines, mais elle le sera très probablement par les parents et amis des ruraux. Ces habitants des villes pourraient être attirés par l'existence du produit traité prêt à cuire, mais sans être assez nombreux pour provoquer une demande importante pour l'excédent de production de ces céréales résistantes à la sécheresse.

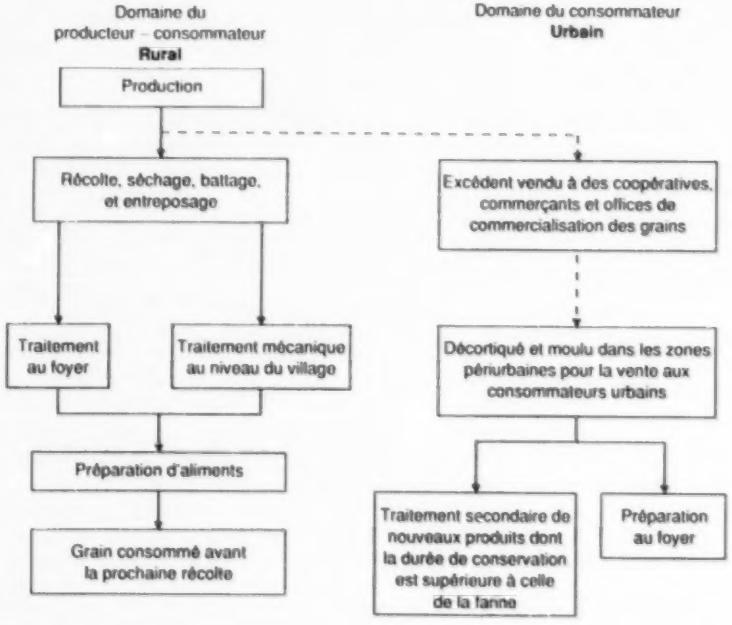

Fig. 38. Développement du système alimentaire à base de sorgho et de mil à chandelles, en présence d'un excédent.

La Figure 38 montre les changements auxquels on peut s'attendre si l'intervention avec la technologie des décortiqueurs dans les régions urbaines ou péri-urbaines est couplée à une stratégie correspondante de commercialisation du grain. L'offre dans les milieux urbains de sorgho et de mil prêts à cuire peut susciter, si les prix sont compétitifs, une demande soutenue pour la production d'un excédent. On pourra ensuite satisfaire cette demande en ajoutant des mécanismes destinés à faciliter l'achat et le transport du grain ou des produits traités, des zones rurales vers les villes.

Le lecteur critique comprendra les nombreuses hypothèses sur lesquelles reposent ces chiffres et se rendra compte que des interventions technologiques successives ne sont pas impossibles à réaliser, en particulier si les politiques ont créé un climat propice pour encourager les changements souhaités: emploi rural et urbain dans les petites minoteries, prix avantageux au producteur, etc.

C'est une question de choix nationaux, de priorités et de possibilités reconnues, que le chercheur s'attache au domaine producteur-consommateur d'abord ou aux deux domaines à la fois ou encore au domaine du consommateur non producteur. Quel que soit le choix fait, il y aura ceux qui gagneront et ceux qui perdront du fait de l'intervention technologique. Une approche stratégique consiste à réduire au minimum les effets des pertes et à distribuer les gains aussi largement que possible. Le chercheur aura manifestement l'occasion de présenter les options aux décideurs, avec une analyse des conséquences de chacune d'elles, et d'obtenir leur appui pour une intervention efficace.

DÉVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE AFIN DE RÉPONDRE AUX BESOINS DES USAGERS

Dans l'appui à la recherche, la stratégie de base a été de souligner et d'encourager:

- l'identification et la caractérisation, par les scientifiques nationaux, de la nature précise du problème alimentaire;
- l'élaboration de solutions techniques par des scientifiques travaillant la main dans la main avec les bénéficiaires prévus;
- des solutions à petite échelle répondant aux besoins du milieu rural;
- des solutions permettant le fonctionnement et l'entretien au niveau rural et la fabrication en Afrique;
- une recherche axée sur le développement, plutôt que sur la recherche elle-même.

Un processus réussi de recherche axée sur le développement comporte généralement les quatre étapes suivantes:

- première étape, identifier ou reconnaître un problème ou une possibilité ayant une large extension;
- deuxième étape, réaliser une technologie (par invention, adaptation ou adoption) susceptible de résoudre le problème;

- troisième étape, confirmer, en consultant les bénéficiaires prévus, que cette technologie est techniquement valable, économiquement viable et socialement acceptable;
- quatrième étape, prendre les dispositions nécessaires pour que la solution — la technologie — soit largement utilisée.

On trouvera dans la Figure 39 une présentation plus rigoureuse de ces quatre étapes, y compris les boucles de cheminement critique permettant de vérifier que les suppositions ou les hypothèses formulées précédemment restent exactes (Bassey et Schmidt, 1987). Le schéma met l'accent sur l'identification du problème et la nécessité de se demander constamment si le problème a été convenablement caractérisé ou décrit. Il insiste sur des tests précoces (en laboratoire), pour déterminer les performances techniques d'un prototype, qui seront suivis d'essais de ce prototype visant à déterminer l'acceptabilité sociale et la viabilité économique, en association avec les bénéficiaires prévus et dans les conditions de la « vie réelle ». L'étape suivante, qui consiste à reproduire ce test dans différents domaines d'usagers, révélera s'il existe une demande effective à grande échelle pour la technologie considérée. Si la réponse est affirmative, on est prêt à planifier la diffusion de la technologie à plus grande échelle.

Rôle du chercheur pour populariser les décortiqueurs

En réfléchissant à la Figure 39 et à la succession des quatre points qui la précèdent, on est amené à formuler les commentaires et les observations que voici.

Le scientifique qui se livre à des recherches appliquées se fie généralement à la deuxième des quatre étapes et a tendance à centrer son activité sur cette étape, souvent à l'exclusion des autres. Il ou elle est souvent plus à l'aise dans le cadre d'un laboratoire et estime que les expériences nécessaires pour la troisième étape impliquent un environnement dans lequel trop de facteurs sont incontrôlables. Plutôt que d'accepter les défis de cet environnement comme test ultime de l'utilité des travaux de recherche, ce chercheur aura tendance à se retrancher dans l'environnement contrôlable du laboratoire. Il aura tendance aussi à penser que la première étape et certaines parties de la troisième relèvent beaucoup plus du domaine des sciences sociales et ne voudra pas avoir grand chose à faire avec ces aspects. De même, la quatrième étape sera souvent considérée comme le domaine exclusif du service de vulgarisation (souvent inexistant ou doté d'un personnel insuffisant) ou de l'industrie.

On rencontre souvent ces attitudes, que peut justifier la formation de base de ce chercheur en sciences appliquées. Cependant, de telles interprétations sont aussi à considérer comme des obstacles à la réalisation d'un processus complet de recherche axée sur le développement. Ces contraintes peuvent-elles être surmontées?

Il est rare qu'un seul chercheur possède toutes les compétences requises ou l'intérêt voulu pour réaliser à lui seul l'ensemble du processus de recherche axée sur le développement. Cependant, le chercheur pourra faire appel à d'autres disciplines pour former une équipe.

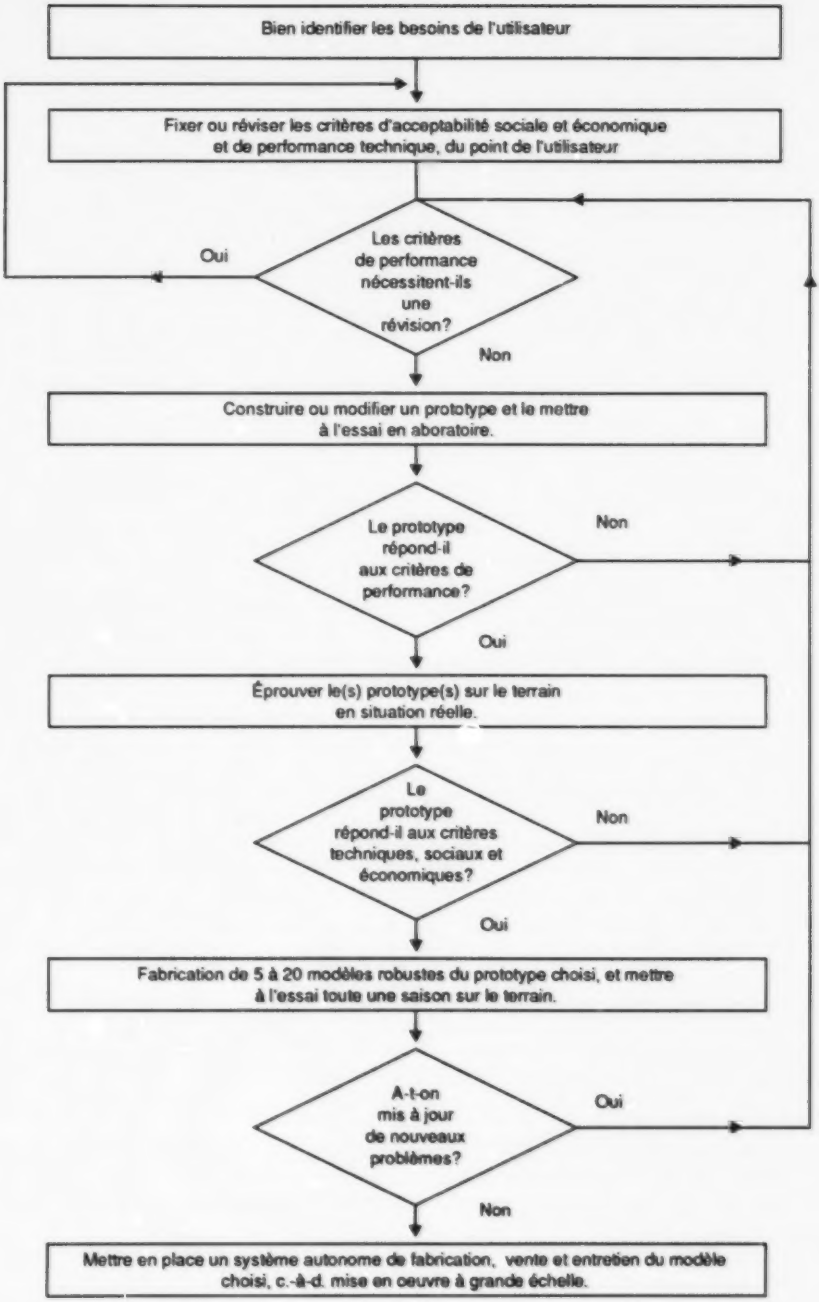

Fig. 39. Organigramme de la recherche appliquée pour le développement de la technologie, en réponse aux besoins des usagers (tiré de Bassey et Schmidt, 1987).

L'équipe de recherche appliquée qui aura acquis de l'expérience avec un décortiqueur à disques abrasifs sera en mesure de promouvoir la diffusion de ce décortiqueur, en interprétant les résultats des recherches et en les ciblant comme suit:

- Organismes de développement rural ou de vulgarisation — les chercheurs pourront démontrer les possibilités de créer des emplois dans des zones rurales avec de petites entreprises de traitement.
- Organismes de crédit — les chercheurs pourront prouver qu'une minoterie rurale sera rentable et montrer qu'un emprunt destiné à l'achat d'équipement pourra être remboursé.
- Atelier de fabrication métallique — les chercheurs pourront indiquer un modèle robuste, susceptible d'être fabriqué localement et pour lequel l'existence d'une demande potentielle sera démontrable.
- Décideurs — les chercheurs pourront démontrer qu'une politique favorisant le traitement des aliments ruraux mérite d'être formulée et pourra être appliquée.
- Ministères de l'agriculture — les chercheurs pourront montrer qu'il est possible de supprimer le goulot d'étranglement du traitement des grains au foyer, apportant ainsi un complément technique essentiel aux efforts de vulgarisation visant à étendre les cultures de sorgho et de mil dans les zones semi-arides; les observations des chercheurs contribueront aussi à l'efficacité de la recherche agricole en fournissant à l'équipe d'amélioration d'importants critères qui permettront de déterminer avec quelle facilité les différentes variétés communément cultivées pourront être traitées.

Un transfert de technologie efficace exige davantage qu'un simple transfert de matériel. En veillant à ce que les recherches appliquées soient menées d'une façon systématique et à ce que les résultats des recherches soient communiqués de façon sélective aux collègues nationaux qui partagent les responsabilités du développement national, de l'autonomie alimentaire nationale et de la sécurité alimentaire des foyers, les chercheurs seront véritablement engagés dans un transfert de technologie important et utile. Les ressources humaines qualifiées sont encore rares dans la région et leur déploiement sage et efficace est d'une importance critique pour l'avenir de l'Afrique.

APPENDICE A
DÉFINITIONS

En mars 1985, le CRDI a organisé un séminaire sur les « aspects techniques des décortiqueurs à disques abrasifs ». Des chercheurs de pays africains francophones et anglophones ont partagé leur expérience, leurs frustrations et leurs succès et ils ont décidé de définir certains des termes qui avaient parfois occasionné des malentendus.

Le *décorticage* (*dehulling*) est le processus qui consiste à enlever une partie, ou la totalité, de la couche ou des couches extérieures du grain. La machine est donc un *décortiqueur* (*dehuller*). Il faut bien comprendre que lorsqu'il est appliqué à une machine de traitement du riz le terme décortiqueur désigne une machine qui, tout à la fois, décortique et enlève la balle. L'équipement de décorticage décrit dans ce livre ne correspond pas vraiment à un décortiqueur à riz, mais plutôt à une machine à enlever la balle.

La performance d'un décortiqueur peut se mesurer de diverses façons. Un décortiqueur exécute un traitement sur une certaine quantité de grain, l'*intrant* (*input*), qui donne un *extrant* ou production (*output*) (poids de grain décortiqué) et du *son* (matériau poudreux) ou des matières fines enlevées par abrasion.

- Le *rendement* est donc égal à: (extrant ÷ intrant) × 100.

La performance horaire d'une machine peut être indiquée de différentes façons:

- *Capacité* (*throughput*): kilogrammes de grain entrant dans le décortiqueur (intrant) par heure; ou
- *Production* (*output*): kilogrammes de grain décortiqué quittant le décortiqueur, par heure.

La *glume* est une partie feuillue qui adhère souvent à un grain de sorgho; sa présence résulte d'un battage incomplet et elle est enlevée dans un décortiqueur.

La *mouture* ou *broyage* (*grinding* ou *pulverization*) est le processus qui consiste à réduire une amande intacte en petites particules, grossières ou fines. En anglais, le terme *milling* désigne souvent l'acte qui consiste à broyer ou pulvériser.

Le traitement primaire auquel on soumet le plus communément les céréales et les légumineuses alimentaires consiste à réduire les grains en farine, en une ou plusieurs étapes. L'établissement dans lequel cette opération est accomplie mécaniquement est appelé *minoterie* (*mill*) ou installation de traitement du grain (ou de décorticage), ou encore système de traitement–transformation (*dehulling-grinding system*).

Le *péricarpe* est défini par les botanistes et les technologues en céréales comme la partie externe du grain de sorgho ou de mil intact. Un terme équivalent est la balle. Le péricarpe, lorsqu'il est soigneusement séparé de l'amande, représente de 3 à 10% du poids total d'un grain de sorgho. À ce niveau de précision, on peut définir le grain complet comme comprenant trois parties: le péricarpe, l'endosperme et le germe.

Rendement (*yield*) : pourcentage du poids total que représentent les amandes restant après le décorticage ; on peut mesurer le rendement de trois façons :

- [(poids initial – poids d'amandes décortiquées)/poids initial × 100] ;
- (extrant + intrant) × 100 ;
- *rendement théorique* = 100 moins pourcentage de péricarpe, en poids.

Taux d'extraction (*extraction rate*) : niveau de rendement qui répond à un test d'acceptabilité préétabli, c.-à-d. rendement acceptable (*acceptable yield*). Les scientifiques travaillant en laboratoire ont utilisé des mesures de la couleur de la farine obtenue, du pourcentage de tanin, en poids, et du pourcentage de fibre, en poids, pour définir le taux d'extraction. En pratique, la personne qui pile se base sur une mesure visuelle subjective du rendement acceptable et s'arrête de piler au moment où il ou elle juge que cette mesure a été réalisée. Le terme « taux d'extraction » a été employé de façon imprécise dans la littérature comme synonyme de rendement, et non de rendement acceptable.

La *consommation d'énergie* du système doit aussi être calculée. Les chercheurs n'enregistreront pas seulement la puissance nominale en cv du moteur (1 cv = 746 W) ou le nombre de kVa (kilovolts-ampères) du moteur électrique, mais donneront également des chiffres indicatifs sur le nombre de litres de carburant diesel nécessaire pour traiter un kilo d'intrant, ou le nombre de kilowatts-heure d'électricité mesuré au compteur qui est nécessaire pour ce traitement.

L'action abrasive dans ces décortiqueurs est réalisée par des disques ou des meules circulaires — *disque* (*disk*), ou *meule* (*stone* ou *grinding wheel*) montés sur un arbre et séparés entre eux par des espaceurs. Nous employons le terme disque pour indiquer cette forme circulaire. Les meules employées sont du type utilisé dans l'industrie pour affûter les outils. On emploie aussi comme disques abrasifs des disques de résinoïde, utilisés dans l'industrie pour couper les métaux.

APPENDICE B
SPÉCIFICATIONS DES MEULES

Les principales caractéristiques permettant de spécifier la composition d'une meule sont: type d'abrasif, numéro de grain, grade, structure et agglomérant (Norton Company, 1975). Les différents fabricants peuvent utiliser différents codes numériques ou alphabétiques.

Les *types d'abrasifs* couramment employés sont le carbure de silice ou l'oxyde d'aluminium, qui peuvent avoir différents degrés de pureté et différentes caractéristiques d'usure et de fracture.

Le *numéro de grain* est indiqué par la maille du plus fin tamis à travers laquelle le granule d'abrasif peut passer. Communément, les mailles des tamis vont de 10 (grain grossier) à 220 (grain très fin). Pour certaines applications, il est souhaitable d'avoir une combinaison de calibres des granules (par exemple un tiers chacun de grain 80, 60 et 46).

Le *grade* indique la relation entre la quantité d'agglomérant et le matériau abrasif. Le grade A contient peu d'agglomérant, de sorte que le granule d'abrasif se déloge facilement; la meule est alors qualifiée de « tendre ». Le grade Z contient un maximum d'agglomérant, le granule d'abrasif est maintenu très fermement et la meule est dite « dure ».

La *structure* indique la relation entre l'abrasif et l'agglomérant, ainsi que la relation entre ces deux éléments et les vides qui les séparent. Le chiffre 0 indique une structure dense, le chiffre 12 une structure ouverte. La structure semble donc indiquer la compression sous laquelle la meule est moulée.

Il existe différents *agglomérants*, mais les fabricants ont tendance à considérer qu'il s'agit de renseignements protégés. Les principaux types d'agglomérants sont les agglomérants vitrifiés (V), de résinoïde (B), de caoutchouc (R) et de gomme-laque (E). L'agglomérant vitrifié est constitué de feldspath et d'argiles, choisis pour leur capacité de se fondre ensemble. Un autre code indique différents types de modifications de l'agglomérant utilisé.

Une *spécification type* de la Norton Company (1975) se lit comme suit:

A	36	L	5	V	BE
Type d'abrasif	Numéro de grain abrasif (grosseur)	Grade	Structure	Agglomérant vitrifié	Modification

Le RIIC a choisi comme disque abrasif la meule répondant à la spécification Norton 37C 60 Q V K. Le type d'abrasif est le carbure de silice correspondant au grade le moins pur. Il est décrit comme noir, durable et utilisé pour des applications de meulage grossier du métal. (Par contre, 39C est un abrasif de carbure de silice pur, de

couleur verte, friable (il se détache facilement), plutôt utilisé pour des applications de précision sur les métaux. Le numéro de grain abrasif 60 signifie que l'on a utilisé en proportions égales du grain abrasif 80, 70 et 60; pour avoir 100% de grosseur 60, par exemple, il faudrait spécifier le numéro 601. Le numéro 543 indique des proportions égales de grosseur 46 et de grosseur 60. Le grade Q décrit une meule de qualité moyenne à dure. Si aucun numéro de structure n'est indiqué, on suppose qu'il s'agit du numéro 5, qui est utilisé pour les meules d'emploi général. La lettre V pour l'agglomérant indique un agglomérant vitrifié non-toxique. La modification K de l'agglomérant donne une action de meulage plus douce.

Il est souhaitable d'ajouter des spécifications pour le *traitement de surface* des faces latérales: la lettre V indique un fini grossier réalisé par un processus de martelage, le terme « ground » indique un fini lisse réalisé par une meule.

APPENDICE C

QUELQUES INSTITUTIONS EFFECTUANT DES RECHERCHES SUR LES DÉCORTIQUEURS

Botswana

Rural Industries Innovation Centre, Private Bag 11, Kanye, Botswana

Botswana Mill Owners Association, BP 483, Gaborone, Botswana

Canada

Institut de biotechnologie des plantes, Conseil national de recherches du Canada, 110 Gymnasium Road, Saskatoon (SK) Canada S7N 0W9

Nutana Machinery, 2615 First Avenue North, Saskatoon (SK) Canada S7K 6E9

Éthiopie

Ethiopia Nutrition Institute, BP 5654, Addis Ababa, Éthiopie

Sorghum Improvement Programme, Institute of Agricultural Research, Nazret Research Station, BP 103, Nazret, Éthiopie

Institute of Development Research, Addis Ababa University, BP 1176, Addis Ababa, Éthiopie

France

Laboratoire de technologie des céréales, CIRAD/IRAT ENSAM, 9, place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

Gambie

Catholic Relief Services, BP 569, Banjul, Gambie

Ghana

Food Research Institute, BP M 20, Accra, Ghana

Inde

Laboratoire des grains, Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides, Patancheru (AP) Inde

College of Home Science, Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad 500 030 (AP) Inde

Kenya

Kenya Industrial Research and Development Institute, BP 30650, Nairobi, Kenya

Department of Food Technology and Nutrition, University of Nairobi, BP 29053, Kabete, Kenya

Lesotho

Division of Agricultural Research, Ministry of Agriculture, BP 829, Maseru, Lesotho

Malawi

Farm Machinery Unit, Chitedze Agricultural Research Station, BP 158, Lilongwe, Malawi

Mali

Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineuses, Division de la recherche agronomique, Institut d'économie rurale, Ministère de l'agriculture, BP 34, Bamako, Mali

CEEMA, Division du machinisme agricole, Direction du génie rural, Ministère de l'agriculture, BP 155, Bamako, Mali

Niger

Institut pour l'étude et l'application du développement intégré, BP 2821, Niamey, Niger

Ouganda

National Research Council, BP 6884, Kampala, Ouganda

Royaume-Uni

Cereals Technology Section, Overseas Development Natural Resources Institute, Culham, Abingdon, Oxon, OX14 3DA, Royaume-Uni

Sénégal

Centre national de la recherche agronomique de Bambey, Institut sénégalais de recherches agricoles, Ministère de la recherche scientifique et technique, Bambey, Sénégal

Institut de technologie alimentaire, Ministère de la recherche scientifique et technique, BP 2765, Dakar, Sénégal

Société industrielle sahélienne de mécaniques, de matériels agricoles et de représentations, BP 3214, Dakar, Sénégal

Soudan

Food Research Centre, Shambat, Khartoum North, Soudan

Tanzanie

Small Industries Development Organization, BP 2476, Dar es Salaam, Tanzanie

Department of Food Science and Technology, Sokoine University of Agriculture, BP 3006, Morogoro, Tanzanie

Tanzania Food and Nutrition Centre, BP 977, Dar es Salaam, Tanzanie

Zambie

Small Industries Development Organization, BP 35373, Lusaka, Zambie

Food Technology Research Unit, National Council for Scientific Research, BP CH 158, Chelston, Lusaka, Zambie

Zimbabwe

Silveira House, BP 545, Harare, Zimbabwe

Environment Development Activities–Zimbabwe, BP 3492, Harare, Zimbabwe

RÉFÉRENCES*

Anon. 1975. Pilot flour mill Maiduguri: grain technology and system. Ministry of Natural Resources, Ministry of Co-operatives and Community Development, Maiduguri (North-Eastern State) Nigéria. 15 p.

Axtell, J.D. 1985. Improving nutritional quality and food grain quality of sorghum. *In* Winn, J.F., réd., INTSORMIL: fighting hunger with research. INTSORMIL, 241 Keim Hall, East Campus, University of Nebraska, Lincoln (NB) É-U, 68583. pp. 157-162.

BAMB (Office de commercialisation agricole du Botswana). 1982. *Sorghum mill project — Pitsane, Botswana*: a review, analysis and recommendation report. Rapport final présenté à l'International Development Research Centre on Sorghum Milling (Botswana) 3-P-75-0137. BAMB, Private Bag 0053, Gaborone, Botswana. 15 p.

Bangu, N.T.A. 1981-1986. Différents rapports du projet *Utilisation du sorgho (Tanzanie)*. Department of Food Science and Technology, Sokoine University of Agriculture, PO Box 3006, Morogoro, Tanzanie.

Bassey, M.W., Schmidt, O.G. (réd.) 1987. Le séchage solaire en Afrique : compte rendu d'un colloque organisé à Dakar (Sénégal) du 21 au 24 juillet 1986. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-255f, ix + 306 p. [Publié aussi en anglais].

Boling, M.B., Eisener, N. 1982. Bogobe: sorghum porridge of Botswana. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 32-35.

Bullard, R.W., Elias, D.J. 1980. Sorghum polyphenols and bird resistance. *In* Hulse, J.H., réd., Polyphenols in cereals and legumes: proceedings of a symposium held during the 36th annual meeting of the Institute of Food Technologists, St. Louis, Missouri, 10–13 June 1979. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, ON, Canada. IDRC-145e. pp. 43-49.

CEA (Commission économique pour l'Afrique). 1985. Technical compendium on composite flours technologies available for application. CEA, Africa Hall, Addis Ababa, Éthiopie, 109 p.

Chinsman, B. 1984. Choice of technique in sorghum and millet milling in Africa. *In* Dendy, D.A.V., réd., The processing of sorghum and millets: criteria for quality of grains and products for human food. Symposium tenu à Vienne, Autriche, du 4 au 5 juin 1984. Tropical Development and Research Institute, Culham, Abingdon, Oxon, R-U, OX14 3DA. pp. 83-92.

---

* Deux publications de l'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) sont citées plusieurs fois dans cette liste. Les institutions de pays en développement sont invitées à s'adresser à l'ICRISAT pour les obtenir. L'ICRISAT offre aussi aux scientifiques un service d'information avec mise à jour régulière sur les nouvelles publications reçues et les réimpressions. Ce service est assuré par le SATCRIS (Service d'information sur les cultures tropicales semi-arides) et peut être adapté aux profils d'intérêts particuliers. S'adresser à : SATCRIS SDI Service, ICRISAT, Patancheru (AP) 502 324, Inde.

Pour plusieurs références, nous avons indiqué où l'on peut s'adresser pour obtenir la publication (nom et adresse de l'organisme) et pas nécessairement le nom de l'éditeur.

CRDI (Centre de recherches pour le développement international). 1976. Le projet de Maiduguri: mouture et utilisation des céréales et des légumineuses en Afrique de l'Ouest. CRDI, Ottawa (ON) Canada. IDRC-TS2f, 15 p. [Publié aussi en anglais]

Da, S., Akingbala, J.O., Rooney, L.W., Scheuring, J.F., Miller, F.R. 1982. Evaluation of *tô* quality in a sorghum breeding program. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 11-23.

Dejene Aredo. 1987. Economic study of the establishment of a sorghum mill and dehuller in Ethiopia: final research report. Institute of Development Research, University of Addis Ababa, PO Box 1176, Addis Ababa, Éthiopie. Research Report 29, 64 p.

Diouf, M., Berthe, G.F. 1985. Communication au séminaire organisé par le CRDI sur les aspects techniques des décortiqueurs à disques abrasifs. Division des céréales et légumineuses, Institut de technologie alimentaire, BP 2765, Hann-Dakar, Sénégal. 7 p.

Doherty, C., Rooney, L.W., Faubion, J.M. 1982. Phytin content of sorghum and sorghum products. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 329-333.

Dovlo, F.E., Williams, C.E., Zoaka, L. 1976. Cowpeas: home preparation and use in West Africa. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-055e, 96 p.

Eastman, P. 1980. L'adieu au pilon: un nouveau système de mouture mécanique en Afrique. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-152f, 64 p. [Publié aussi en anglais].

Eisener, N., MacFarlane, C., Schmidt, S.K. 1979. The machine that dehulls and grinds sorghum for us. Rural Industries Innovation Centre, Private Bag 11, Kanye, Botswana. 41 p.

Ejeta, G. 1982. Kisra quality: testing new sorghum varieties and hybrids. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 67-72.

ENDA (Environment Development Activities). 1988. Technical progress report on mini-dehullers (Zimbabwe). ENDA-Zimbabwe, PO Box 3492, Harare, Zimbabwe. 206 p.

ENI (Ethiopia Nutrition Institute). 1981-1986. Rapports annuels sur l'utilisation du sorgho (Éthiopie). ENI, PO Box 5654, Addis Ababa, Éthiopie.

EPOC (Equity Policy Center). 1985. Utilizing the street food trade in development programing: final report. EPOC, Suite 420, 2001 S Street NW, Washington (DC) 20009, É-U. 42 p.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 1978. Report on the agro-ecological zones project — vol. 1: Methodology and results for Africa. FAO, Via delle Terme di Caracalla 00100, Rome, Italie. World Soil Resources Report 48.

_____ 1984. Annuaire de la production, 1983 (vol. 37). FAO, Via delle Terme di Caracalla 00100, Rome, Italie. Statistiques de la FAO, série 55.

Fastenau, A. 1983. A social profitability of three small-scale sorghum milling projects in Botswana. A. Fastenau, Barmbekerstrasse 47, D-2000 Hambourg 60, République fédérale d'Allemagne. 30 p.

Faubion, J.M., Hoseney, R.C., Klopfenstein, C.F. 1985. Nutritional quality of pearl millet. *In* Winn, J.F., réd., INTSORMIL: fighting hunger with research. INTSORMIL, 241 Keim Hall, East Campus, University of Nebraska, Lincoln (NB) É-U, 68583. pp. 150-153.

Forrest, R.S., Yaciuk, G. 1980. Sorghum milling — a new agro-industry for Botswana. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-MR30, 32 p.

Futrell, M., Kilgor, L., McCulloch, E., Dundas, M. 1985. An interdisciplinary approach to nutrition, with grain sorghum and pearl millet as the staple food. *In* Winn, J.F., réd., INTSORMIL: fighting hunger with research. INTSORMIL, 241 Keim Hall, East Campus, University of Nebraska, Lincoln (NB) É-U, 68583. pp. 126-131.

Gaitan, E., Cooksey, R.C., Legan, J., Cutler, F.M., Meydrech, E.F., Lindsay, R.H., Hill, J., Reichert, R.D., Ingbar, S.H., Kubota, K., Duque, E. 1986. C-glycosylflavones: goitrogens in millet. *In* Medeiros-Neto, G., Gaitan, E., réd., Frontiers in thyroidology (vol.2). Plenum Medical Book Company, New York (NY) É-U.

Gebrekidan, Brhane, Gebrehiwot, Belainesh. 1982. Sorghum *injera* preparations and quality parameters. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 55-66.

Gibbs, D. 1986. An evaluation of the development of the sorghum milling industry in Botswana [projet]. Botswana Mill Owners Association, PO Box 438, Gaborone, Botswana. 54 p.

Haidara, M., Coulibaly, S., Scheuring, J.F. 1985. Acceptability of sorghum *tô* after progressive dehulling of the grains. Présenté au séminaire sur les aspects techniques des décortiqueurs, mars 1985, Dakar, Sénégal. Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineuses, BP 438, Bamako, Mali. 10 p.

Hallgren, L. 1985. Physical and structural properties of cereals, sorghum in particular, in relation to milling methods and product use (vol.1). Department of Biotechnology, Carlsberg Research Laboratory et Department of Technical Biochemistry, Technical University of Denmark, Copenhague, Danemark. Rapport de recherche 96, 161 p.

Hamilton, A.G. 1975. A review of post-harvest technologies, Botswana. Service universitaire canadien outre-mer, 135 rue Rideau, Ottawa (ON) Canada K1N 9K7. 200 p.

Hardie, J. 1982. Sorghum milling in Botswana: a development impact study. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. Miméo, 43 p.

Hulse, J.H., réd. 1980. Polyphenols in cereals and legumes: proceedings of a symposium held during the 36th annual meeting of the Institute of Food Technologists, St. Louis, Missouri, 10-13 June 1979. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-145e, 72 p.

Hulse, J.H., Laing, E.M., Pearson, O.E. 1980. Sorghum and the millets: their composition and nutritive value. Academic Press, Toronto (ON) Canada, M3C 2A1. 997 p.

Kante, A., Coulibaly, S., Scheuring, J.F., Niangado, O. 1984. The ease of decortication in relation to the grain characteristics of Malian pearl millets. *In* Dendy, D.A.V., réd., The processing of sorghum and millets: criteria for quality of grains and products for human food. Symposium tenu à Vienne, Autriche, du 4 au 5 juin 1984. Tropical Development and Research Institute, Culham, Abingdon, Oxon, R-U, OX14 3DA. pp. 44-47.

Kouthon, G.D. 1984. FAO activities in the field of sorghum and millet processing and utilization. Division des services agricoles, Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla 00100, Rome, Italie. 2 p.

Mbengue, H.M. 1985. *Projet de technologie post-récolte* (3-P-79-0066, phase II) — rapport final. Institut sénégalais de recherches agronomiques, Centre national de recherches agronomiques, Bambey, Sénégal. 61 p.

_____ 1986. Projet 3-P-84-0016 de *Création d'un décortiqueur au Sénégal* — situation des travaux de recherches au 31-08-86. Centre national de recherches agronomiques, Bambey, Sénégal. 24p.

_____ 1988. Mise au point d'un décortiqueur adapté aux besoins de transformation primaire des céréales locales au Sénégal — situation des travaux et perspectives. Symposium sur les petites installations de minoterie, 2 au 4 mai 1988, Dakar, Sénégal. Centre national de recherches agronomiques, Bambey, Sénégal. 24 p.

Morei, K.V. 1985. Sorghum milling technology development in Botswana. Présenté à la SADCC-ICRISAT Sorghum and Millet Improvement Conference, Gaborone, Botswana, septembre 1985. Rural Industries Innovation Centre, Private Bag 11, Kanye, Botswana. 10 p.

Mukuru, S.Z., Mushonga, J.N., Murty, D.S. 1982. Sorghum ugali. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 39-44.

Mwasaru, M.A., Reichert, R.D., Mukuru, S.Z. 1988. Factors affecting the abrasive dehulling efficiency of high tannin sorghum. Cereal Chemistry, 65(3), 171-174.

Nance, J., Colley, S. 1985. Technical aspects of abrasive disc dehulling of staple grains in a rural village: results of two years regular operations. Présenté au colloque sur les aspects techniques des décortiqueurs, mars 1985, Dakar, Sénégal. Catholic Relief Services, PO Box 569, Banjul, Gambie. 18 p.

Narayan-Parker, D. 1981. The impact of sorghum mills on four rural communities in Botswana. Rural Industries Innovation Centre, Private Bag 11, Kanye, Botswana. 28 p.

_____ 1982. The impact of sorghum mills on four rural communities in Botswana: a follow-up survey. Rural Industries Innovation Centre, Private Bag 11, Kanye, Botswana. 40 p.

Norton Company. 1975. Abrasives and grinding wheels. Norton Canada Inc., Hamilton (ON) Canada L8L 7Y5.

Novellie, L. 1982. Fermented beverages. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 113-120.

Obilana, T.A. 1982. Traditional sorghum foods in Nigeria: their preparation and quality

parameters. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 45-54.

Osman, A.K. 1981. Bulrush millet (Pennisetum typhoides) — a contributory factor to the endemicity of goitre in Western Sudan. Ecology of Food and Nutrition, 11, 121-128.

Osman, A.K., Fatah, A.A. 1981. Factors other than iodine deficiency contributing to the endemicity of goitre in Darfur province (Sudan). Journal of Human Nutrition, 35, 302-309.

Perten, H. 1984. Industrial processing of millet and sorghum. *In* Dendy, D.A.V., réd., The processing of sorghum and millets: criteria for quality of grains and products for human food, Vienna, Austria, 4-5 June 1984. Tropical Development and Research Institute, Culham, Abingdon, Oxon, R-U, OX14 3DA. pp. 52-55.

PFP (Partnership for Productivity). 1983. Survey for the market of commercially milled sorghum. Botswana Development Corporation, PO Box 438, Gaborone, Botswana. 34 p.

Price, M.L., Butler, L.G. 1980. Treatments of sorghum grain that reduce the assayable tannin content and their effect on the nutritional value of the grain. *In* Hulse, J.H., réd., Polyphenols in cereals and legumes: proceedings of a symposium held during the 36th annual meeting of the Institute of Food Technologists, St. Louis, Missouri, 10-13 June 1979. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-145e. pp. 39-42.

Reichert, R.D. 1979. The pH-sensitive pigments in pearl millet. Cereal Chemistry, 56(4). pp. 291-294.

——— 1982. Sorghum dry milling. *In* Sorghum in the eighties: proceedings of the International Symposium on Sorghum, 2-7 November 1981, Patancheru, AP, Inde (vol.2). ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 547-564.

Reichert, R.D., Youngs, C.G. 1976. Dehulling cereal grains and grain legumes for developing countries: I — Quantitative comparison between attrition and abrasive type mills. Cereal Chemistry, 53(6), 829-839.

——— 1977. Dehulling cereal grains and grain legumes for developing countries: II — Chemical composition of mechanically and traditionally dehulled sorghum and millet. Cereal Chemistry, 54(1), 174-178.

Reichert, R.D., Lorer, E.F., Youngs, C.G. 1979. Village-scale mechanical dehulling of cowpeas. Cereal Chemistry, 56(3), 181-184.

Reichert, R.D., Youngs, C.G., Christensen, D.A. 1980. Polyphenols in Pennisetum millet. *In* Hulse, J.H., réd., Polyphenols in cereals and legumes: proceedings of a symposium held during the 36th annual meeting of the Institute of Food Technologists, St. Louis, Missouri, 10-13 June 1979. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-145e. pp. 50-60.

Reichert, R.D., Youngs, C.G., Oomah, B.D. 1982. Measurement of grain hardness and dehulling quality with a multisample, tangential abrasive dehulling device (TADD). *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 186-193.

Reichert, R.D., Oomah, B.D., Schwab, D.J. 1984a. Milling characteristics of group I low tannin sorghum varieties. Canadian Institute of Food Science Technology Journal, 17(3). pp. 147-151.

Reichert, R.D., Oomah, B.D., Youngs, C.G. 1984b. Factors affecting the efficiency of abrasive type dehulling of grain legumes investigated with a new intermediate sized, batch dehuller. Journal of Food Science, 49(1). pp. 267-272.

Reichert, R.D., Tyler, R.T., York, A.E., Schwab, D.J., Tatarynovitch, J.E., Mwasaru, M.A. 1986. Description of a production model of the tangential abrasive dehulling device and its application to breeders' samples. Cereal Chemistry, 63(3). pp. 201-207.

RIIC (Centre d'innovation des industries rurales). 1980a. *Sorghum milling Botswana II*: Final report, November 1980, to the International Development Research Centre on Grain Milling (Botswana) 3-P-78-0023. RIIC, Private Bag 11, Kanye, Botswana. 39 p.

_____ 1980b. The RIIC dehuller operator's manual. RIIC, Private Bag 11, Kanye, Botswana. 35 p.

Rooney, L.W. 1984. Sorghum utilization in traditional foods. *In* Dendy, D.A.V., réd., The processing of sorghum and millets: criteria for quality of grains and products for human food. Symposium tenu à Vienne, Autriche, 4 au 5 juin 1984. Tropical Development and Research Institute, Culham, Abingdon, Oxon, R-U, OX14 3DA. pp. 6-9.

_____ 1985. Food and nutritional quality of sorghum. *In* Winn, J.F., réd., INTSORMIL: fighting hunger with research. INTSORMIL, 241 Keim Hall, East Campus, University of Nebraska, Lincoln (NB) É-U, 68583. pp. 131-139.

Rooney, L.W., Miller, F.R. 1982. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. *In* proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 143-162.

Rooney, L.W., Murty, D.S. 1982. Evaluation of sorghum food quality. *In* Sorghum in the eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum, 2-7 November 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 571-588.

Scheuring, J.F., Sidibe, S., Kante, A. 1982. Sorghum alkali *tô*: quality considerations. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 24-31.

Scheuring, J.F., Sidibe, S., Rooney, L.W., Earp, C.F. 1983. Sorghum pericarp thickness and its relation to decortication in a wooden mortar and pestle. Cereal Chemistry, 60(1), 86-89.

Schmidt, O. 1983. Sorghum milling: the Botswana experience, and progress towards implementation in other African countries. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. Miméo, 12 p.

_____ 1988. The sorghum dehuller: a case study in innovation. *In* Carr, M., réd., Sustainable industrial development. Intermediate Technology Publications, 9 King St., Londres, R-U. pp. 51-73.

Schoonmaker Freudenberger, K. 1988. The Gambia mini-dehuller project: a socio-

economic study of phase I — Rapport de consultant au Centre de recherches pour le développement international, Dakar, Sénégal. 50 p.

Shiferaw Gurmu. 1986. Baseline survey of production, marketing and processing of sorghum and other cereals in Alemaya area. Institute of Development Research, Addis Ababa University, PO Box 1176, Addis Ababa, Éthiopie. Rapport de recherche 25, 103 p.

Sidibe, S., Diara, M., Scheuring, J.F. 1982. Sorghum *couscous*: quality considerations. *In* Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981, Patancheru, AP, India. ICRISAT, Patancheru (AP) Inde. pp. 110-112.

SIDO (Small Industries Development Organization). 1982–1986. Final report — phase I, et Progress reports — phase II of *Sorghum Milling (Tanzania)*. SIDO, Box 2476, Dar es Salaam, Tanzanie.

Steckle, J., Ewanyk, L. 1974. Consumer preference study in grain utilization, Maiduguri, Nigeria. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-022e, 47 p.

Sullins, R.D., Rooney, L.W. 1977. Pericarp and endosperm structure of pearl millet (*Pennisetum typhoides*). *In* Dendy, D.A.V., réd., Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food, Vienna, Austria, 11–12 May 1976. Tropical Development and Research Institute, Culham, Abingdon, Oxon, OX14 3DA, R-U. pp. 91-110.

Svanberg, U. 1983a. Nitrogen balance and digestibility studies on pre-school children given sorghum *faffa* mixed into the traditional diet. Rapport de consultant au CRDI et à l'ENI. Ethiopia Nutrition Institute, PO Box 5654, Addis Ababa, Éthiopie. 15 p.

——— 1983b. Voluntary food intake study — acceptability and tolerance in pre-school children given sorghum faffa mixed into the traditional diet. Rapport de consultant au CRDI et à l'ENI. Ethiopia Nutrition Institute, PO Box 5654, Addis Ababa, Éthiopie. 13 p.

Vogel, S., Graham, M. 1979. Sorghum and millet: food production and use — report of a workshop held in Nairobi, Kenya, 4-7 July 1978. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (ON) Canada. IDRC-123e, 64 p.

Whitby, G. 1985. Successfully processing sorghum. Journal of Appropriate Technology, 12(1), 11-12.

York, A.E. 1981. PRL "mini" dehuller instruction manual. Institut de biotechnologie des plantes, Conseil national de recherche du Canada, 110 Gymnasium Road, Saskatoon, SK, Canada S7N 0W9. 24 p.

Zewdie, A. 1984. Utilization of sorghum in Ethiopia: acceptability study on mechanically dehulled sorghum. *In* Dendy, D.A.V., réd., The processing of sorghum and millets: criteria for quality of grains and products for human food, Vienna, Austria, 4-5 June 1984. Tropical Development and Research Institute, Culham, Abingdon, Oxon, R-U, OX14 3DA. pp. 81-82.

ACRONYMES

ACDI	Agence canadienne de développement international
ATI	Appropriate Technology International
BAMB	Office de commercialisation agricole du Botswana
BMOA	Botswana Mill Owners' Association
CEA	Commission économique pour l'Afrique
CEE	Communauté économique européenne
CNRA	Conseil national de recherche agronomique
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CRS	Service de secours catholique
ENDA	Environment Development Activities
ENI	Ethiopian Nutrition Institute
EPOC	Equity Policy Centre
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FRC	Food Research Centre
IAR	Institute of Agricultural Research
IBP	Institut de biotechnologie des plantes
ICRISAT	Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides
IDR	Institut de recherche pour le développement
ISRA	Institut sénégalais de recherches agricoles
KIRDI	Institut de recherche et développement industriels du Kenya
NGPC	National Grains Production Company
ODNRI	Overseas Development Natural Resources Institute
PFP	Partnership for Productivity
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
PRL	Laboratoire régional des Prairies
RIIC	Centre d'innovation des industries rurales
SATCRIS	Service d'information sur les cultures tropicales semi-arides
SIDO	Small Industries Development Organization
SISMAR	Société industrielle sahélienne de mécaniques, de matériels agricoles et de représentations
TADD	dispositif de décorticage abrasif tangentiel
TDRI	Tropical Development and Research Institute

Siège social du CRDI
CRDI, BP 8500, Ottawa (Ontario) Canada K1G 3H9

Bureau régional pour l'Afrique centrale et occidentale
CRDI, BP 11007, CD Annexe, Dakar, Sénégal

Bureau régional pour le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord
CRDI / IDRC, BP 14 Orman, Giza, Le Caire, Égypte

Bureau régional pour l'Afrique orientale et australe
IDRC, PO Box 62084, Nairobi, Kenya

Bureau régional pour l'Asie du Sud-Est et de l'Est
IDRC, Tanglin PO Box 101, Singapore 9124, République de Singapour

Bureau régional pour l'Asie du Sud
IDRC, 11 Jor Bagh, New Delhi 110003, Inde

Bureau régional pour l'Amérique latine et les Antilles
CIID, Casilla de Correo 6379, Montevideo, Uruguay

Veuillez adresser vos demandes d'information au sujet du CRDI et de ses activités au bureau de votre région.